Le lagunage en régions nordiques

Compte rendu de l'atelier de travail Winnipeg (Manitoba), juin 1985

Rapport SPE 3 NR 1
Avril 1987

Environment CANADA Environnement
2039103B VOL 3NR ISS 1 870400
EXC # 001
TD 182 R46
RAPPORT (CANADA. ENVIRONNEMENT CANA
DA)
OOFF

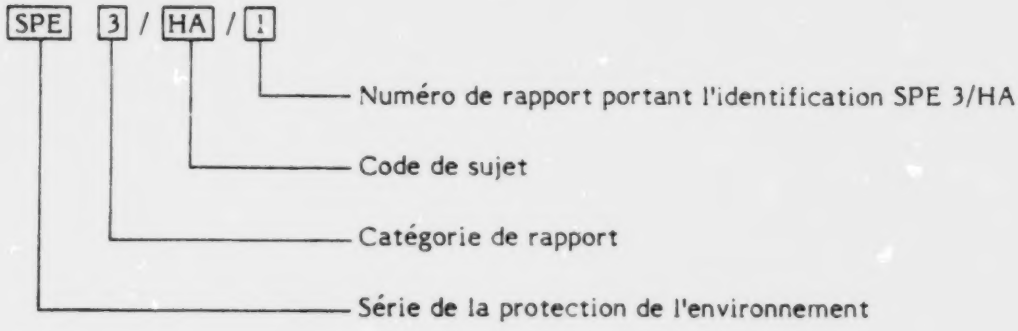
Environnement Canada Environment Canada

Canada

87-05102/

SÉRIE DE RAPPORTS DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Consultation publique: évaluation des problèmes, options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AP	Polluants atmosphériques
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et l'environnement
CI	Industries chimiques
FA	Activités fédérales
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord et rurales
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SF	Traitement de surface
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthode de référence normalisée
TS	Systèmes de transport
UP	Pollution urbaine

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant aux Publications de la protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0E7.

LE LAGUNAGE EN RÉGIONS NORDIQUES
Compte rendu de l'atelier de travail
Winnipeg (Manitoba), juin 1985

Rédaction:

A.R. Townshend
H. Knoll

Sous le patronnage de:
Direction du développement technologique et
des services techniques, Environnement Canada
Direction générale des services techniques et des marchés, Affaires indiennes
et du Nord Canada
Direction des services médicaux, Santé et Bien-être Canada

Rapport SPE 3/NR/1
Avril 1987

Version française de
Cold Climate Sewage Lagoons
préparée par le Module d'édition française

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987
N° de cat. En 49-13/3-1F
ISBN 0-662-94211-6
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

REMARQUE DES RÉDACTEURS

Ce compte rendu s'inspire essentiellement de la transcription des procès-verbaux de l'atelier. Les articles qu'on nous a remis nous ont permis d'éclaircir ou de développer certains points lorsque nous l'avons jugé nécessaire. Nous nous sommes efforcés de présenter aussi fidèlement que possible les opinions et les faits énoncés à l'atelier et dans cette délicate entreprise nous avons demandé l'aide des personnes nommées ci-après pour la révision de l'avant-projet:

Pat Lang	Environnement Alberta
Steve Black	Ministère de l'Environnement de l'Ontario
Daniel W. Smith	Université de l'Alberta
Eric Davis	Université de la Saskatchewan
Durga Prasad	Université de Toronto
Ross Bulley	Université de la Colombie-Britannique
Dan Thirumurthi	Université technique de la Nouvelle-Écosse
Jean-Marc Jalbert	Ministère de l'Environnement du Québec
Sherwood C. Reed	U.S. Army CRREL
Barry MacBride	Ville de Winnipeg
P.W. Given	UMA Engineering Ltd.
Bob Dawson	Stanley Associates Engineering Ltd.
J.W. Gerald Rupke	Rupke& Associates Ltd.
John H. Neil	Limnos Ltd.
Dave Hay	Environnement Canada (Conservation et Protection)
Bruce Jank	Environnement Canada (Conservation et Protection)
Ron Kent	Environnement Canada (Conservation et Protection)
Ross Holden	Affaires indiennes et du Nord Canada
David Green	Santé et Bien-être Canada
John Grainger	Communications et Transport, Yukon
Bert Caine	Ministère de la Santé publique de la C.-B.

REMERCIEMENTS

Le comité de planification de l'atelier regroupait les personnes suivantes:

John Benner	Affaires indiennes et du Nord Canada
Ross Holden	Affaires indiennes et du Nord Canada
David G. Green	Santé et Bien-être Canada
Dave Hay	Environnement Canada
Al Townshend	Environnement Canada

Si l'atelier a été l'occasion d'échanges enrichissants pour les professionnels du domaine, c'est grâce aux efforts que le comité a déployés pour préparer un programme intéressant et en organiser la réalisation. Nous leur en sommes reconnaissants.

Nous voudrions aussi remercier le Dr Dan Smith, professeur à l'Université de l'Alberta, ainsi que Messieurs Sherwood Reed, chercheur scientifique, U.S. Army CCREL et John A. Cormie, directeur, Yukon Dept. of Community and Transportation Services.

Pour l'exposé d'introduction, Dan Smith s'est inspiré du rapport sur le lagunage en régions froides qu'il a préparé avec Gordon R. Finch pour Environnement Canada.

Sherwood Reed a diffusé le rapport du Dr Tim Tilworth parmi les participants de l'atelier. Ce n'est là qu'un exemple de l'aide et de l'encouragement qu'il nous a apportés.

John A. Cormie nous a fait parvenir le plan d'installations de lagunage types exploitées au Yukon.

TABLE DES MATIÈRES

1	**Aperçu général**	1
1.1	Le lagunage	1
1.2	La nécessité de procéder à des recherches	2
1.3	Les objectifs de l'atelier	3
1.4	Les participants	4
1,5	Organisation	4
1.5.1	Domaine d'application	5
1.6	Besoins en recherche identifiés	6
1.7	Évaluation de l'atelier	6
1.8	Mise en oeuvre du plan de recherche	7
2	**L'atelier de travail**	9
2.1	Améliorations souhaitées par divers professionnels du domaine	9
2.1.1	Agents des services de contrôle de la pollution	9
2.1.2	Inspecteurs de l'hygiène publique	9
2.1.3	Propriétaires d'installations de lagunage Petites installations. Grandes installations.	11
2.1.4	Experts-conseils	12
2.1.5	Chercheurs universitaires	13
2.2	Ateliers consacrés à la théorie et à la mise en application du lagunage	14
2.2.1	Théorie du lagunage	14
2.2.2	Conception et exploitation des installations de lagunage Emplacement. Conception du procédé. Population maximale.	16
2.2.3	Amélioration des installations de lagunage Mesures mises en oeuvre en Ontario. Aquiculture. Épuration en marécage.	18
2.2.4	Lagunage aéré Lagunage aéré aérobie à mélange intégral. Lagunage aéré en milieu facultatif à mélange partiel.	19
2.2.5	Modèles de lagunage en milieu facultatif aérobie	20
2.3	Mise en oeuvre: éléments à considérer dans l'élaboration d'un Plan de recherche national sur le lagunage en régions froides	21
2.3.1	Orientation de la recherche	21
2.3.2	Détermination des travaux à réaliser	22
2.3.3	Questions soulevées au sujet des projets de recherche Élaboration de normes de surveillance (Projets 44, 45, 54 et 61). Élimination des odeurs (Projet 33). Évaluation des organismes indicateurs de la présence de pathogènes (Projet 46). Définition des mécanismes de biocinétique intervenant dans un bassin de lagunage recouvert de glace (Projet 1). Critères régissant la conception des petits bassins de lagunage (Projet 49). Critères de conception pour l'optimisation de l'élimination des germes pathogènes (Projet 56). Amélioration de l'efficacité du lagunage par l'utilisation des marécages ou d'autres milieux aquatiques (Projet 39). Modèle dynamique du lagunage (Projet 47).	22
2.3.4	Résumé	29
2.4	Suites de l'atelier	30
2.4.1	Organisation	30
2.4.2	Objectifs de l'organisation dans son ensemble	31

2.4.3	Stratégie	31
2.4.4	Projets retenus en priorité	31
2.4.5	Activités	32
2.4.6	Responsabilités que pourrait déléguer le comité directeur	32
2.4.7	Engagement	33
2.5	Clôture des travaux Organismes de réglementation gouvernementaux. Experts-conseils. Milieu universitaire.	33
2.6	Évaluation de l'Atelier	35
3	**Théorie du lagunage et conception**	36
3.1	Situation actuelle	36
3.1.1	Efficacité du lagunage en Alberta Étude en écoulement de trop-plein continu. Contrôle à différents stades de la période de vidange (2 semaines).	36
3.1.2	Critères de conception des organismes de réglementation et état de la technique	39
3.1.3	Propriétés des eaux usées	42
3.1.4	Accumulation de boues	44
3.2	Environnement et hygiène publique	45
3.2.1	Effets des effluents de lagunage sur l'environnement Alimentation d'une nappe souterraine. Déversement en terrain marécageux. Épandage par aspersion.	46
3.2.2	Hygiène publique Bactéries et virus: le plus grand problème dans les Territoires du Nord-Ouest. Facteur R. Moules. Aérosols.	47
3.2.3	Sacs hygiéniques	49
3.2.4	Validité des méthodes standard employées dans l'analyse des matières en suspension Dosage des matières dissoutes totales plutôt que mesure de la DBO. Utilité des coliformes fécaux comme organismes indicateurs. Évaluation de la toxicité des effluents.	49
3.3	Exploitation et contrôle du traitement	51
3.3.1	Efficacité et contrôle du lagunage	52
3.3.2	Conservation des données	53
3.3.3	Entretien	54
3.3.4	Formation des opérateurs	54
3.4	Amélioration de l'efficacité des installations actuelles	56
3.4.1	Aperçu des résultats obtenus en Ontario Élimination des substances nutritives. Réduction de la demande en oxygène et des populations bactériennes. Réduction de la toxicité. Élimination des odeurs dues au sulfure d'hydrogène.	57
3.4.2	Traitement en marécage naturel Saskatchewan. Territoires du Nord-Ouest. Ontario. Nord du Québec. Résumé.	61
3.4.3	Élimination des substances nutritives par la culture de la lentille d'eau	62
3.4.4	Récolte de la biomasse	64
3.5	Théorie du lagunage	65
3.5.1	Limnologie du bassin de lagunage	65
3.5.2	Organismes des eaux usées	68
3.5.3	Désinfection naturelle	69
3.5.4	Effets de la température	70

3.5.5	Effets de la glace Au premier gel. Au milieu de l'hiver. Au dégel printanier.	70
3.5.6	Dépôts de fond	72
3.5.7	Composés azotés Nitrification et dénitrification. Volatilisation de l'ammoniac.	72
3.5.8	Changements d'alcalinité	73
3.5.9	Teneur en oxygène dissous (OD)	73
3.5.10	Bactéries psychrotrophes Travaux réalisés dans les installations de lagunage d'Inuvik (T.N.-O.) Caractéristiques des boues de lagunage. Conclusions.	74
3.5.11	Aménagement	83
3.5.12	Modèles de lagunage en milieu facultatif	84
3.6	Conception de l'installation	86
3.6.1	Choix de l'emplacement Éloignement. Poursuites judiciaires à cause d'émanations d'odeurs.	86
3.6.2	Aménagement des installations sur le pergélisol Choix de l'emplacement. Comment éviter les problèmes dus au dégel.	89
3.6.3	Lagunage en milieu facultatif Bassins de traitement primaire anaérobie. Bassins de pré-aération. Bassins de traitement principaux. Bassins d'affinage et d'emmagasinement.	92
3.6.4	Lagunage aéré Charge et qualité des effluents. Aérateurs. Court-circuitage. Teneur en oxygène dissous sous la glace. Coefficients du modèle mathématique. Déphosphoration.	97
3.6.5	Considérations sur le mode d'exploitation et l'entretien Dispositifs de régulation du débit des effluents. Protection contre l'érosion. Prévention des fuites.	107

ANNEXE A	PROGRAMME DE L'ATELIER	111
ANNEXE B	PARTICIPANTS	117
ANNEXE C	DESCRIPTION SOMMAIRE DES PROJETS DE RECHERCHE PAR ORDRE DE PRIORITÉ DANS CHAQUE DOMAINE	125
ANNEXE D	EXPOSÉS DES PRÉSENTATEURS ET DES ANIMATEURS	
	D-1 Les installations de lagunage de la ville de Winnipeg	135
	D-2 Efficacité du lagunage en Alberta	137
	D-3 Description sommaire des modèles employés dans la conception des installations de lagunage	144
	D-4 Critères appliqués dans la conception des installations de lagunage	149
	D-5 Principes de la formation des opérateurs	156
ANNEXE E	DOCUMENTS OFFERTS EN CONSULTATION	163
ANNEXE F	ÉVALUATION DE L'ATELIER DE TRAVAIL	171

LISTE DES TABLEAUX

1	Liste des 10 sujets d'étude jugés les plus importants	8
2	Caractéristiques des eaux usées brutes	44
3	Données recueillies dans des installations de lagunage améliorées de l'Ontario	59
4	Paramètres physiques et chimiques mesurés en divers points d'échantillonnage dans les installations de lagunage d'Inuvik	77
5	Teneur moyenne en matières solides dans chacun des bassins (installations de lagunage d'Inuvik)	78
6	DBO et DCO moyennes (installations de lagunage d'Inuvik)	78
7	Résultats des numérations bactériennes	79
8	Caractéristiques des boues de lagunage à Inuvik	81
9	Interprétation des résultats obtenus avec les modèles mathématiques	103

1 APERÇU GÉNÉRAL

1.1 Le lagunage

Le lagunage vient en tête de liste des procédés d'épuration des eaux employés au Canada. Les quelque mille lagunes (ou étangs de stabilisation) répertoriées représentent près de la moitié des installations d'épuration des eaux usées du pays. En Alberta, au Manitoba, en Saskatchewan, dans les Territoires du Nord-Ouest et au Yukon, on recourt au lagunage dans 70 p. 100 et plus des cas.

Le lagunage permet de traiter les eaux usées des petites villes à peu de frais, d'où son succès. On peut aménager un bassin sur un terrain sans grande valeur près de la ville; le traitement consomme peu d'énergie et l'entretien des installations, limité de surcroît, ne nécessite pas de personnel hautement spécialisé. Les critères actuels en matière de protection de l'hygiène publique et de l'environnement pourraient toutefois nous forcer à réévaluer la valeur de ce procédé autrefois jugé efficace parce qu'il permettait d'éliminer la demande biochimique en oxygène (DBO) et les matières en suspension.

On traite les eaux usées pour protéger l'hygiène publique et réduire le plus possible les effets du rejet des effluents sur l'environnement. De ce point de vue, l'efficacité du lagunage n'est pas constante. Lorsque le temps est relativement chaud et que l'ensoleillement est suffisant, le lagunage donne de bons résultats au point de vue de l'élimination de la DBO et des coliformes fécaux (CF). Par temps froid et dans des conditions d'ensoleillement insuffisant, les résultats sont médiocres. On a apporté un certain nombre de modifications à la conception et au mode d'exploitation des lagunes pour corriger certains des défauts inhérents au procédé. Toutefois, la variabilité des résultats continue à préoccuper les concepteurs, les opérateurs et les organismes de réglementation.

Des travaux de recherche et de développement plus poussés permettront aux concepteurs et aux opérateurs d'obtenir les connaissances nécessaires pour arriver à contrôler les facteurs environnementaux et biotechnologiques qui influent sur le lagunage en régions froides. (C'est en régions froides que le lagunage pose les plus grands problèmes, car dans ces conditions le temps de séjour doit être plus long et l'épuration prend plus de temps.)

L'approfondissement des connaissances en la matière nous permettra de mieux comprendre les relations entre le coût du traitement, l'hygiène publique et la protection de l'environnement, et par voie de conséquence, nous serons mieux à même de concevoir des installations de lagunage qui donneront les résultats escomptés.

1.2 La nécessité de procéder à des recherches

Aux mois d'août et de novembre 1982, le Service de protection de l'environnement (SPE) a communiqué avec les membres d'un groupe de spécialistes en écologie des gouvernements fédéral, provinciaux, des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon et de diverses universités du Canada, au sujet de l'organisation éventuelle d'un groupe de travail qui serait chargé de préparer un manuel détaillé sur le lagunage au Canada.

Cette démarche a suscité tellement d'intérêt, en particulier dans l'administration locale des Territoires du Nord-Ouest, qu'en décembre 1982, les responsables de la Direction du développement technologique d'alors ont commandé à Daniel W. Smith, professeur au Département de génie civil de l'Université de l'Alberta, une étude documentaire commentée devant servir de base pour l'étude du rendement du lagunage, l'étude du procédé théorique ainsi que l'aménagement et l'exploitation des lagunes en régions froides. (*A Critical Evaluation of Lagoons in Cold Climates*, octobre 1983.)

En mars 1983, les professeurs Smith, Heinke et Labonté annonçaient la création d'un programme de recherche sur le lagunage dans le cadre duquel l'Université de l'Alberta, l'Université de Toronto et l'École polytechnique de Montréal coordonneraient leurs activités pour réaliser divers travaux financés par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNGC). Un certain nombre de projets, dont la portée allait au-delà des intérêts des gouvernements fédéral et provinciaux, ont alors été élaborés. En mars 1983, les participants se sont réunis à l'Université de Toronto pour planifier leurs activités; des représentants des gouvernements concernés et du *Cold Regions Research and Engineering Laboratory* (CRREL) de l'armée américaine ont assisté à cette réunion.

En août 1983, Sherwood C. Reed, du CRREL, a examiné la version préliminaire du *Design Manual for Municipal Wastewater Stabilization Ponds* (EPA-625/1-83-015), document produit par l'EPA et à la préparation duquel il avait participé. (Ce document est paru en octobre 1983.) Dans ce manuel, on énumère 29 points à étudier pour améliorer les connaissances actuelles sur le lagunage en régions froides. Par ce manuel, Sherwood C. Reed apporte sa contribution à la mise sur pied d'un programme international coordonné de recherches sur le lagunage en régions froides. Le CRREL a en outre commandé au professeur Timothy Tilsworth un rapport sur le lagunage en Alaska (*Cold Climate Lagoon Status* (E84-11), mai 1984).

En novembre 1983, les trois universités participantes, de concert avec le CRREL, demandaient à divers organismes gouvernementaux du Canada de les aider dans la

réalisation d'un programme de recherche quinquennal sur le lagunage en régions froides élaboré en fonction des besoins qu'ont fait ressortir les études commandées par l'EPA et le SPE dont nous venons de parler. Les besoins en recherches (42 projets préliminaires en tout) ont été classifiés en six grands domaines.

En automne 1984, le Service de protection de l'environnement (Environnement Canada), en collaboration avec la Direction générale des services techniques et des marchés (Affaires indiennes et du Nord) et la Direction générale des services médicaux (Santé et Bien-être social Canada), a entrepris la planification d'un atelier national sur le lagunage en régions froides; il s'agissait de réunir des spécialistes familiarisés avec les divers aspects du lagunage en régions froides en vue de fixer les éléments d'un plan coordonné de recherche et d'étude. L'atelier devait déboucher sur la formation d'un comité de direction et des groupes de travail, auxquels participeraient les gouvernements et les milieux universitaire et industriel, afin de mettre en oeuvre les études recommandées et finalement, préparer les manuels nécessaires pour la conception, l'aménagement et l'exploitation des lagunes en régions froides.

Environnement Canada a fourni le document de référence pour les travaux de l'atelier. (*Les étangs de stabilisation dans les régions nordiques, SPE 4/NR/1.*) Ce rapport est basé sur l'étude documentaire réalisée en octobre 1983 à l'Université de l'Alberta.

Cette démarche a suivi une approche globale et coordonnée mettant à contribution tous les secteurs intéressés au lagunage en régions froides, car on savait qu'aucun groupe ne possédait suffisamment de ressources à lui seul pour la mener à bien.

1.3 Les objectifs de l'atelier

1) Déterminer dans quels domaines il y aurait lieu de faire des recherches pour obtenir l'information qui nous permette d'étayer plus solidement les recommandations formulées pour la conception et l'exploitation des lagunes en régions froides.
2) S'entendre sur les moyens pour diffuser l'information recueillie à ceux qui travaillent à la planification, à la conception et à l'exploitation des lagunes pour lutter contre la pollution.
3) Organiser un programme de recherche et de développement pour étudier les divers points sur lesquels on manque de renseignements et notamment:

   - Examiner ce que nous savons du traitement des eaux usées dans un bassin couvert de glace une partie de l'année.

- Trouver des règles de conception et d'exploitation plus logiques et plus précises s'appliquant au lagunage en régions froides, considérant que le temps de séjour est plus long et que l'épuration prend plus de temps.

Résultats escomptés

Plan directeur des études documentaires, des travaux de recherche en laboratoire et des études sur place dont la réalisation sera financée et dirigée par un groupe de commanditaires selon des priorités établies.

1.4 Les participants

Environ 50 personnes ont été invitées à faire part de leur expérience en matière de lagunage en régions froides; il s'agissait de représentants du gouvernement travaillant dans des organismes de réglementation, de chercheurs, d'experts-conseils et de propriétaires d'installations de lagunage. On leur avait demandé de veiller à la bonne marche de l'atelier en remplissant diverses fonctions, notamment assurer la présidence, présenter des exposés thématiques, diriger les débats, animer les ateliers ou en rédiger le procès-verbal.

Chacun devait se préparer pour l'atelier en résumant en une page les informations qu'il se proposait de transmettre durant les débats. Ces résumés devaient paraître dans les Actes de l'atelier.

1.5 Organisation

L'atelier a duré deux jours et demi, au cours desquels six thèmes ayant trait au lagunage ont été abordés (un thème le matin, un autre l'après-midi (deux le deuxième après-midi)).

Pendant les travaux, les participants pouvaient consulter les rapports spécialisés et les bibliographies mis à leur disposition. Pour plus de détails à ce sujet, voir l'Annexe E.

1.5.1 Thèmes abordés. - Le D[r] Dan Smith, professeur de génie civil à l'Université de l'Alberta, a ouvert les travaux en donnant un aperçu général du rapport sur les installations de lagunage en régions froides. (*A Critical Evaluation of the Operation and Performance of Lagoons in Cold Climates.*)

1) Situation actuelle

On a fait rapidement le tour des problèmes que pose le lagunage.

2) Théorie du lagunage

On s'est penché sur les aspects climatiques, biologiques, physico-chimiques et géotechniques du lagunage, ainsi que sur l'influence qu'exerce la géométrie du bassin sur l'efficacité des processus qui s'y déroulent.

3) Conception et exploitation des installations de lagunage

On a abordé les sujets suivants:

- choix de l'emplacement
- modèles de conception
- processus
- aménagement et
- exploitation.

4) Amélioration des installations de lagunage

On s'est penché sur les nouvelles méthodes qui permettent de produire des effluents de grande qualité, soit par modification de la technologie du lagunage ou par le recours à des moyens d'amélioration de la qualité biologique des effluents, par exemple, l'aquiculture.

5) Démarches ultérieures

Durant cette séance, on s'est attaché à résumer les besoins en information identifiés au cours des deux premiers jours. Conformément à l'objectif, c'est en fonction des lacunes relevées durant cet atelier qu'on planifiera les travaux de recherche ultérieurs.

6) Mise en oeuvre

Il s'agissait ici d'établir, avec l'assentiment général, l'ordre de priorité des travaux de recherche et de définir un cadre organisationnel qui permette de les mettre en oeuvre le plus rapidement possible.

Cet atelier a été organisé pour donner aux participants l'occasion d'exprimer en toute liberté leur opinion sur les questions abordées dans les exposés.

1.5.2 Domaine d'application. - L'atelier portait principalement sur le lagunage en milieu facultatif conventionnel et en anaérobiose, car ce sont là les deux procédés les plus répandus au Canada. On a aussi abordé certains aspects du lagunage aéré. Avoir su que le lagunage aéré était la méthode la plus utilisée au Québec, nous aurions approfondi la question. Nous avions prévu aborder le sujet des dispositifs d'aération uniquement sous l'angle de leur utilité pour améliorer l'épuration dans les installations conventionnelles (élimination des odeurs et DBO accrue).

Le lagunage des eaux usées industrielles, en bassin conventionnel ou aéré, débordait le cadre d'étude de l'atelier.

1.6 Besoins en recherche identifiés

Le lagunage servira de plus en plus à traiter les eaux polluées. Pour que ce procédé reste la méthode de traitement la plus économique pour les petites agglomérations, il nous faut mieux comprendre l'importance que peuvent avoir la géométrie des bassins et leur nombre; il nous faut aussi en savoir davantage sur la limnologie d'une lagune afin d'être en mesure de mieux aménager et exploiter les installations et d'obtenir des résultats plus uniformes. Suite aux discussions, 23 sujets d'étude sont venus s'ajouter aux 42 sujets identifiés avant la tenue de l'atelier. L'Annexe C liste les 65 sujets retenus pour étude.

Une fois la liste des sujets dressée, on a demandé à chacun des participants de les coter de 1 à 10 (voir la partie 1.2). Les 10 sujets jugés les plus importants ou présentant le plus d'intérêt sont énumérés au tableau 1. Les 5 premiers sont:

- étude en vue de mieux documenter les problèmes que pose actuellement le lagunage et les nouvelles solutions proposées;
- formation d'un groupe d'étude chargé d'élaborer des normes de contrôle du lagunage acceptables à l'échelle nationale;
- réalisation d'une étude destinée à recueillir et interpréter des données saisonnières sur le rendement et la qualité des effluents dans les installations de lagunage en régions froides;
- création d'une équipe chargée d'étudier les moyens d'éliminer les odeurs; et
- évaluation d'indicateurs biologiques renseignant sur la présence de germes pathogènes dans les installations de lagunage en régions froides.

On a cru bon de mentionner dans ces Actes les points qui ont fait l'objet d'un concensus afin d'encourager les participants et tous les autres intéressés à concentrer leurs efforts sur les moyens visant à améliorer le lagunage en régions froides.

1.7 Évaluation de l'atelier

Les participants ont trouvé l'atelier profitable à divers points de vue:

- l'atelier rend possible des rencontres stimulantes et encourageantes du point de vue professionnel;
- il constitue une excellente occasion de discuter des derniers progrès en recherche et des nouvelles idées;

- il permet d'intervenir dans l'orientation des recherches;
- il constitue une source d'information plus directe;
- il permet de rencontrer des collègues; et
- il fournit l'occasion d'aborder des problèmes communs de points de vue différents.

À cause des avantages de l'atelier, les participants ont souhaité que de telles rencontres soient régulièrement organisées, par exemple tous les deux ans, quand des informations sur le progrès dans le domaine seront disponibles.

On a souligné le travail que Al Townshend et Dan Smith ont accompli pour organiser et animer l'atelier. Étant donné que la rencontre a été particulièrement propice à la communication et que les participants ont été encouragés à exprimer leur point de vue librement, on peut dire que tous ont été satisfaits et que les objectifs fixés ont été atteints.

1.8 Mise en oeuvre du plan de recherche

Au cours de la rencontre, les participants ont fait différentes propositions sur les mécanismes et activités, à l'intention de tous ceux qui s'intéressent à la mise en oeuvre d'un plan national de recherche sur le lagunage en régions froides au Canada (tableau 1).

La réalisation du plan serait confiée à un comité directeur auquel se rattacheraient divers groupes de travail chargés de réaliser des tâches spécifiques. On viserait les objectifs suivants:

- Trouver des solutions.
- Transmettre les renseignements recueillis.
- Introduire de nouvelles approches dans la conception, l'aménagement et l'exploitation des installations de lagunage afin d'en améliorer le rendement et la fiabilité.

Pour élaborer le plan, on se servirait des renseignements recueillis par l'étude approfondie d'un certain nombre d'installations de lagunage plutôt que des données existantes, car celles-ci pourraient ne pas être suffisamment fiables.

Les activités entreprises dans le cadre du plan seraient contrôlées et évaluées. Les mécanismes mis en place devraient permettre d'adapter l'ordre des priorités de façon à tenir compte des progrès accomplis et de l'évolution des besoins. Pour cette mise à jour, on organiserait des réunions de révision des projets ainsi que des ateliers nationaux.

Tableau 1
Liste des 10 sujets d'étude jugés les plus importants par les participants à l'atelier de travail sur le lagunage en régions froides, tenu à Winnipeg (Man.) du 5 au 7 juin 1985

	Domaine d'application	N° du projet	Description	Classement
1.0	État actuel des connaissances	27	Étude des installations de lagunage en exploitation pour en documenter les problèmes et les innovations	1er rang
3.0	Exploitation et contrôle des opérations	44	Élaboration de normes de contrôle	2e rang
1.0	État actuel des connaissances	26	Rendement et qualité des effluents dans les installations à évacuation intermittente	3e rang
2.0	Protection de l'environnement et de la santé	33	Élimination des odeurs et mesures préventives	3e rang
2.0	Protection de l'environnement et de la santé	46	Évaluation d'indicateurs biologiques pour déceler la présence de germes pathogènes	3e rang
5.0	Théorie et conception	1	Biocinétique dans un étang recouvert de glace	4e rang
5.0	Théorie et conception	49	Critères de conception applicables aux petits étangs temporaires	4e rang
5.0	Théorie et conception	56	Critères de conception pour optimiser l'élimination des germes pathogènes	4e rang
4.0	Améliorations technologiques	39	Exploitation des terres marécageuses ou d'autres milieux aquatiques pour le lagunage	5e rang
3.0	Exploitation et contrôle des opérations	45	Élaboration de normes d'exploitation	5e rang

2 L'ATELIER DE TRAVAIL

2.1 Améliorations souhaitées par divers professionnels du domaine

2.1.1 Agents des services de contrôle de la pollution. - Toutes les installations d'épuration des eaux usées devraient produire des effluents qui n'altèrent pas la qualité des eaux réceptrices. Il semble qu'en général les lagunes fassent assez bien l'affaire dans les localités où l'on vise simplement à réduire la DBO et la teneur en matières en suspension. Ce n'est toutefois pas suffisant de nos jours.

Les connaissances que nous avons acquises sur les eaux usées n'ont pas changé notre point de vue sur les résultats que devraient donner l'épuration, mais elles nous ont amenés à en considérer davantage l'aspect microcosmique. Nous savons maintenant que les eaux usées doivent être débarrassées d'un plus grand nombre de substances, mais savons-nous comment le faire dans les lagunes?

L'efficacité du lagunage repose sur des interactions biochimiques. Jusqu'à quel point peut-il être efficace en régions froides, lorsqu'on sait que le froid ralentit considérablement les interactions biologiques et que pendant des mois, une couche de glace empêche l'oxygénation du milieu et la pénétration des rayons solaires?

Il faudrait insister davantage sur l'élimination des substances nutritives et la réduction des populations bactériennes et voir ce qu'il advient de l'ammoniaque et du sulfure d'hydrogène dans les lagunes.

Pour faire du lagunage un procédé d'épuration efficace, mieux adapté et plus facilement applicable, on a:

- modifié l'aménagement des installations (bassins multiples);
- employé des agents chimiques pour éliminer les substances nutritives;
- traité les effluents en les déversant dans des marécages; et
- ajouté des filtres d'affinage.

Avec toutes ces modifications et toutes ces améliorations, peut-on toujours parler de lagunage?

2.1.2 Inspecteurs de l'hygiène publique. - Le rendement du lagunage ne peut se mesurer qu'en termes d'élimination de la DBO et des matières en suspension. Même lorsque, après la première dilution, les effluents d'une installation semblent propres et que la DBO et la teneur en matière en suspension sont faibles, il n'est pas garanti que les eaux réceptrices puissent servir sans danger aux utilisations domestiques d'une population, ni même à des fins de loisirs.

Le lagunage est donc jugé satisfaisant lorsque les effluents ne posent aucun danger pour l'hygiène publique. C'est le cas dans les installations où l'eau épurée semble propre et ne contient, d'après les résultats des analyses, pas de germes pathogènes qui menacent la santé, c'est-à-dire des bactéries, des virus, des protozoaires ou des helminthes (vers parasites de l'intestin).

Dans le cas des bassins aérés, ces conditions sont remplies quand les aérosols produits durant l'aération ne contiennent aucun micro-organisme pathogène.

Il faut des critères en fonction desquels on peut juger de l'innocuité des effluents pour la santé.

Pour vérifier si les effluents contiennent des germes pathogènes, on recherche dans l'échantillon analysé un organisme indicateur, habituellement *E. coli*. Si l'on ne trouve pas de *E. coli*, on conclut que tous les agents de maladies intestinales ont été détruits. Cette conclusion n'est pas valable, car *E. coli* ne satisfait pas vraiment à tous les critères définissant les organismes indicateurs. Dans une lagune, certains virus comme, par exemple, celui de la poliomyélite, vivent trois fois plus longtemps que *E. coli* ou les streptocoques. On trouve régulièrement des virus dans les effluents des lagunes. On doute donc, et à juste titre, de la valeur indicative de *E. coli*.

Pour des raisons qu'on ignore, il semble que les micro-organismes vivent plus longtemps dans les installations de lagunage des régions froides. On a pensé notamment que dans les bassins de ces installations, les micro-organismes ne subissent pas de choc thermique parce qu'ils ont le temps de s'acclimater au froid. Quelle que soit la cause de ce phénomène, on sait que les micro-organismes vivent longtemps dans les bassins de lagunage et dans les eaux réceptrices des régions froides. Il s'ensuit qu'un grand nombre de germes pathogènes sont libérés dans l'environnement, généralement directement dans les eaux réceptrices. À ce problème s'ajoute celui des facteurs de résistance (facteurs R) qui confèrent aux micro-organismes la faculté de résister aux antibiotiques, aux toxines, aux métaux lourds et aux rayons ultra-violets, en somme à une bonne partie des bactéricides dont nous disposons. Cette résistance est déterminée par un groupe de plasmides - structures génétiques extrachromosomiques constituées d'ADN circulaire; elle est autotransmissible. Ces faits prennent une importance capitale lorsqu'on pense à la protection de la santé.

Il faudrait trouver des moyens qui permettent d'éliminer les agents des maladies intestinales.

La décantation primaire n'élimine que 20 à 40 p. 100 des germes pathogènes. Cependant, après passage dans une lagune, de 90 à 99 p. 100 des organismes indicateurs (*E. coli*) et des germes pathogènes (*Salmonella*) sont disparus. Néanmoins, le lagunage n'élimine pas entièrement les virus.

Il faut donc étudier plus attentivement l'élimination des virus des eaux de lagunage en considérant certains facteurs:

- température et rayonnement solaire;
- court-circuitage;
- pH;
- floculation, coagulation et décantation;
- filtration.

En outre, notre attention doit se porter avant tout sur les lagunes qui desservent les camps de travailleurs saisonniers et les habitations individuelles ainsi que sur les lacs naturels convertis en lagunes.

Il faudrait qu'on assure la sécurité des opérateurs en leur donnant l'information et la formation nécessaires.

2.1.3 Propriétaires d'installations de lagunage

Petites installations. - Le ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada a aménagé quelque 160 lagunes; la plupart sont exploitées par des bandes d'Amérindiens. En général, elles desservent des localités de moins de 1000 personnes.

On prévoit transférer la propriété de ces installations aux bandes qu'elles desservent; celles-ci devront alors assumer l'entière responsabilité de l'exploitation et de l'entretien.

Les lagunes destinées à desservir peu d'usagers devraient être d'un aménagement facile et bon marché et leur exploitation ne devrait pas exiger de personnel spécialisé.

Il faudrait élaborer de nouveaux critères de conception pour les petites lagunes.

En élaborant ces critères de conception, il faut accorder beaucoup d'attention aux points suivants:

- dimensionnement et géométrie appropriés;
- évaluation adéquate du débit d'écoulement et des charges prévues, surtout les premières années;
- vitesse d'évaporation et d'infiltration;
- durée d'emmagasinement nécessaire pour la vidange saisonnière;

- gel des canalisations d'alimentation et de vidange;
- prévention de l'érosion des bermes; et
- court-circuitage causé par les courants de densité.

Grandes installations. - Lorsqu'on a aménagé les installations de lagunage de Winnipeg en 1964, la capacité théorique était de $13,6 \times 10^6$ l/jour, mais l'expérience a montré que la capacité de traitement réelle était de $9,2 \times 10^6$ l/jour.

Il faut trouver le moyen d'éliminer les odeurs.

L'érosion pose un problème à Winnipeg, mais ce qui inquiète surtout le public, et cause de plus grandes difficultés, ce sont les odeurs qui se dégagent des bassins de lagunage pendant quelques jours, au printemps, et qui incommodent les citoyens. Les installations ont été aménagées hors des limites de la ville, mais avec le temps, la région urbaine s'est développée et il y a maintenant des habitations à proximité. La municipalité étudie actuellement diverses solutions de remplacement, non seulement à cause de l'inquiétude du public mais aussi parce qu'on voudrait mettre en valeur les terres voisines.

Cependant, si l'on continue d'exploiter ces installations, il faudra trouver un moyen efficace et peu coûteux de prévoir et de limiter les émanations d'odeurs au printemps.

2.1.4 Experts-conseils

Il faut recueillir des données concluantes sur l'aménagement des lagunes.

Il serait bon qu'on dispose de données concluantes sur divers aspects du lagunage, notamment sur les points suivants:

- efficacité du traitement à différentes périodes de l'année;
- efficacité du traitement dans différents types de bassins, selon leurs dimensions et leur forme;
- efficacité du procédé (épuration et odeur) en fonction de la profondeur des bassins;
- méthode de vidange:
  - Vaut-il mieux vidanger au printemps (effluent de qualité médiocre mais fortement dilué par les crues printanières), en automne (effluent de bonne qualité peu ou pas dilué) ou tout l'été?
- fuites:
  - Dans quelle mesure sont-elles acceptables?
  - Comparaison entre les revêtements à infiltration lente par rapport aux produits plus coûteux.

- élimination des odeurs:
  - . Effet des rejets industriels.
  - . Effet des composés sulfurés et de l'ammoniaque.
- enlèvement des boues: fréquence et méthode.

Il faut élaborer des directives complètes sur la conception et l'exploitation des lagunes.

Lorsqu'on connaîtra mieux les divers aspects de la conception des lagunes, il faudra mettre au point des directives ou des normes complètes sur la question. La plupart des normes actuelles semblent arbitraires et varient d'une province à l'autre. Par exemple, des bassins de traitement anaérobie ne sont exigés qu'en Alberta. L'objectif visé ici serait de faire en sorte que les recommandations formulées par les participants à l'atelier servent de base à des normes appliquées partout au Canada.

Les normes, en plus de paraître arbitraires ou strictement régionales, sont parfois carrément inappropriées. Par exemple, la norme qui régit l'emplacement précise la distance minimum entre les nouvelles installations et les zones habitées. Ce minimum s'est souvent révélé inadéquat car certaines villes se développent dans la direction des installations de lagunage, de sorte que la population incommodée par les odeurs peut augmenter. Même lorsque la norme est appliquée, les odeurs qui se dégagent d'une installation de lagunage peuvent atteindre la ville durant certaines saisons. Le planificateur averti choisira un emplacement au-delà de la distance minimale.

En ce qui a trait aux normes applicables au lagunage, la tendance actuelle semble favoriser une plus grande rigueur. Cependant, ces normes ne semblent pas clairement étayées.

Les normes simplifient sans conteste le travail des experts-conseils; ceux qui les acceptent sans autre en écartant toute solution de rechange qui pourrait être meilleure risquent de commettre des erreurs.

2.1.5 Chercheurs universitaires. - Les carences que comportent nos connaissances en matière de lagunage ont parfois donné lieu à des entreprises qui défient le bon sens:

- Une théorie de lagunage applicable au Texas a servi à la conception d'une installation à Point Barrow, en Alaska, à la limite septentrionale du territoire nord-américain.
- Dans une ville des Prairies, on traite les effluents de lagunage au phosphore pour éliminer les proliférations algales dans les lacs récepteurs, même si ces lacs sont alimentés par des eaux souterraines qui contiennent de 5/100 à 25/100 ppm de phosphore.

- On a dans un cas recommandé d'ajouter de nouveaux bassins (qui servent à réduire les charges) pour combattre les odeurs.
- Certaines installations de lagunage sont laissées sans surveillance, les exploitants étant persuadés que le traitement ne nécessite aucune intervention.
- Les inspecteurs des services sanitaires se servent des résultats de numérations bactériennes pour démontrer la nécessité d'améliorer l'épuration.
- Des agents des ministères de l'environnement évaluent la qualité des effluents juste avant qu'ils ne soient rejetés dans un cours d'eau à sec.

Il faut organiser des ateliers de transfert de technologie.

Ces ateliers permettraient de dissiper certaines méprises relatives au lagunage car on pourrait exposer des théories mieux fondées.

Il faut étudier le lagunage sans interruption saisonnière.

- Il faut poursuivre l'étude du lagunage en conditions réelles toute l'année, même durant les périodes où le travail devient plus difficile, c'est-à-dire en hiver et lors d'émanations d'odeurs.
- Il faudrait étudier davantage la question des charges acceptables.

2.2 Ateliers consacrés à la théorie et à la mise en application du lagunage

2.2.1 Théorie du lagunage. - Des procédés d'épuration connus, le lagunage est probablement l'un des plus complexes. Il met en jeu des processus microbiologiques aérobies et anaérobies, ce qui n'est pas le cas du traitement par boues activées. Les eaux de lagunage contiennent non seulement des bactéries, des protozoaires et des rotifères, mais on y trouve aussi des algues, du moins une certaine partie de l'année. Il existe de nombreux types de bassins de lagunage, depuis le bassin aéré où le traitement est de courte durée, jusqu'aux installations à rétention totale; le degré d'épuration recherché varie également. Les organismes dont nous venons de parler contribuent tous ensemble à un seul et même processus dont la complexité est telle qu'il nous est très difficile de comprendre tout à fait et dans tous leurs aspects fondamentaux les interrelations chimiques et biologiques mises en jeu.

Essentiellement, il faut se demander si nous avons besoin d'en savoir davantage sur la théorie du lagunage et, si ce n'est pas le cas, on doit trouver le moyen d'expliquer plus clairement l'exploitation d'une lagune. Il s'agit aussi de savoir s'il nous est utile de comprendre les aspects essentiels du lagunage et, le cas échéant, quel genre de

renseignements il faut rechercher. Il faut aussi voir si le coût d'une telle démarche est justifié.

Rien ne nous garantit que les installations aménagées en fonction de ce que nous aurons appris sur les aspects fondamentaux du lagunage donneront de meilleurs résultats.

Nous en savons beaucoup sur la conception et l'aménagement des installations de lagunage, mais il nous reste beaucoup à apprendre sur:

- les programmes de surveillance;
- l'exploitation d'une installation de lagunage;
- les influences chimiques et biologiques sur le rendement;
- l'adaptation de la conception en fonction des objectifs d'une installation donnée;
- la désinfection naturelle; et
- la dynamique et le changement des caractéristiques, c'est-à-dire des facteurs antérieurs influant sur l'efficacité du lagunage et des facteurs évoluant avec le temps liés aux changements saisonniers.

Pour être en mesure de concevoir des installations de traitement en fonction des principes fondamentaux du lagunage, c'est-à-dire de tous les principes chimiques et biologiques mis en jeu, il nous faut recueillir beaucoup plus de données. Il est essentiel de:

1) Comprendre les processus biologiques, physiques et chimiques du lagunage.
2) En savoir davantage sur la géométrie des installations pour être en mesure de concevoir des bassins dans lesquels l'écoulement s'approchera plus d'un régime d'écoulement piston.

Conception en fonction des principes fondamentaux. - On s'accorde généralement sur le fait qu'il serait bon de concevoir les installations de lagunage en fonction des principes fondamentaux mis en jeu, mais on pense alors surtout au lagunage aéré. Le seul moyen d'optimiser ce processus est de concevoir l'installation en tenant compte des réactions qui doivent s'y dérouler. Cependant, dans le cas des installations à rétention totale, les contraintes qu'imposent la construction et les facteurs géotechniques importent plus que les processus biochimiques.

Pour en apprendre davantage sur le lagunage à temps de séjour prolongé, il faut consulter les données récemment recueillies par le ministère de l'Environnement de l'Alberta (Annexe C) qui vient de réaliser l'une des meilleures études de surveillance sur ce genre de procédé. Les résultats de cette étude influeront sur la conception et l'exploitation des installations de lagunage.

Avec ces données et tous les autres renseignements que nous possédons sur la question, il n'y a pas lieu de pousser beaucoup plus loin l'étude des processus fondamentaux qui s'opèrent dans un bassin à temps de séjour prolongé.

Pour trouver des renseignements qui nous aident à mieux comprendre les processus fondamentaux du lagunage (ou des procédés du même genre), certains des participants de l'atelier nous ont suggéré d'aller voir ce qui se fait dans les domaines de la limnologie, de l'aquiculture et de la microbiologie, en portant une attention particulière aux bactéries psychrophiles et psychrotrophes.

Il nous faudra mettre en commun toutes les nouvelles connaissances acquises. On pourrait notamment assurer la diffusion de ces connaissances par un bulletin d'information sommaire à l'intention des concepteurs et des opérateurs d'installations de lagunage. Cette formule serait peut-être préférable à celle du manuel de conception ou à une publication de ce genre, car il est impossible de traiter adéquatement, dans un même ouvrage, de tous les types d'installations de lagunage et des divers objectifs de traitement.

Commentaires de l'auditoire. - Au cours des débats, les participants ont soulevé diverses questions dont nous avons pris acte:

- effet de la température sur les micro-organismes;
- effet de l'enneigement sur la pénétration de la lumière dans une lagune;
- facteurs R durant la saison froide;
- nature et cause des émanations d'odeurs;
- nature des matières en suspension dans les eaux à traiter, dans les effluents et dans le benthos;
- effet du court-circuitage dans les bassins conventionnels et aérés;
- détermination des coefficients de vitesse de réaction appliqués au lagunage;
- relations entre les organismes indicateurs et les germes pathogènes;
- paramètres à surveiller pour vérifier le rendement des installations de lagunage;
- méthodes non chimiques permettant de réduire la teneur des effluents en phosphore;
- accumulation excessive de boues et méthodes d'enlèvement.

2.2.2 Conception et exploitation des installations de lagunage

Emplacement. - L'emplacement est l'un des éléments les plus importants de la conception des installations de lagunage. Pour le choisir, il faut tenir compte des points suivants:

- résultats de l'analyse géotechnique, en particulier dans les zones de pergélisol;

- éloignement;
- infiltration à travers les bermes jusqu'aux eaux souterraines;
- direction des vents, brassage des eaux usées, érosion des bermes et possibilité d'émanation d'odeurs;
- disponibilité des matériaux de construction; et
- données topographiques et hydrogéotechniques (la municipalité peut fournir des renseignements sur les eaux souterraines, etc.).

Conception du procédé. - "Du point de vue de la conception, le lagunage en étang de stabilisation est probablement le moins bien défini de tous les procédés de traitement biologique" (Metcalfe & Eddy Inc., *Wastewater Engineering*, 1st ed., John Wiley & Sons Inc., New York, N.Y.). Pour être en mesure d'orienter la recherche, de définir la conception et de cerner les véritables problèmes, il nous faut d'abord:

1) Recueillir des données plus précises et plus nombreuses sur l'efficacité du lagunage dans les installations actuelles, c'est-à-dire que nous avons besoin de renseignements sur:
   - la charge;
   - la qualité des effluents;
   - les substances toxiques;
   - les micro-organismes, et
   - la géométrie.
2) Trouver des méthodes de gestion pour les boues accumulées dans les bassins anaérobies et en milieu facultatif.
3) Uniformiser les techniques de conception en tenant compte des facteurs suivants:
   - charge prévue;
   - temps de séjour;
   - équations d'énergie cinétique.
4) Recueillir des données sur les techniques de conception appliquées en génie civil, en particulier en ce qui a trait aux bermes (efficacité) et aux aménagements spécialement conçus pour les installations de lagunage:
   - dans les zones de pergélisol continues et discontinues;
   - dans la plupart des sols au nord du 60° parallèle qui ne se prêtent pas à l'aménagement d'une installation de lagunage parce qu'ils sont très salins et contiennent beaucoup de glace, et sont donc difficiles à tasser;
   - dans les régions à saison de construction courte.

Population maximale. - L'importance de la population à desservir n'est jamais un facteur limitant l'applicabilité du lagunage. Les facteurs limitants sont de nature économique: coûts, disponibilité et utilité du terrain.

2.2.3 Amélioration des installations de lagunage

Mesures mises en oeuvre en Ontario. - Steve Black a parlé de différentes installations de lagunage en Ontario auxquelles on a apporté certaines améliorations:

- déphosphoration dans les installations de lagunage à évacuation continue et à rétention saisonnière par addition de substances chimiques dans l'influent ou dans les bassins;
- élimination du sulfure d'hydrogène par installation de diffuseurs tubulaires fixes dans les bassins secondaires;
- aménagement de bassins d'aération et d'exfiltration dans un ruisseau à truites pour combattre l'eutrophisation et éliminer l'ammoniaque, toxique pour ce poisson; et
- régulation de la teneur des eaux réceptrices en oxygène dissous par l'aménagement d'un bassin d'aération et l'installation de plusieurs filtres à sable pour réduire la DBO et la teneur en ammoniaque.

Toutes les améliorations ci-dessus avaient fait l'objet d'études à l'échelle pilote. Les initiatives prises en Ontario montrent qu'il existe divers moyens pour améliorer la qualité des effluents de lagunage, moyens qui, dans certains cas, sont propres à l'emplacement.

Aquiculture. - L'aquiculture permet d'éliminer les substances nutritives des eaux de lagunage. Certains des produits qui résultent de ce processus ont une valeur marchande, ce qui permet de couvrir en partie les frais d'exploitation et d'entretien.

La lentille d'eau peut métaboliser jusqu'à 3 p. 100 du phosphore et 8 p. 100 de l'azote que renferment les effluents, abaissant ainsi leur teneur en substances nutritives. On peut en faire la récolte régulièrement et l'incorporer comme supplément dans les fourrages donnés au bétail.

Certains chercheurs des États-Unis font actuellement des expériences avec des biotoiles sur lesquelles les organismes brouteurs peuvent se fixer et se nourrir de bactéries. Dans d'autres travaux de recherche, on s'intéresse à l'emploi de micro-tamis pour l'affinage des effluents. Ces tamis pourraient servir à recueillir les produits biologiques.

Dans les installations où le lagunage donne des effluents de grande qualité sans qu'il soit nécessaire de faire un traitement chimique, on peut faire de l'élevage de poissons

pour repeupler les cours d'eau. John Neil nous a parlé du projet d'aquiculture expérimental auquel il a participé. L'élevage a permis d'améliorer la qualité des effluents du bassin de lagunage où le projet a été réalisé.

Épuration en marécage. - Il se pourrait que les terres marécageuses soient un milieu idéal pour compléter le traitement des effluents de lagunage en abaissant la DBO ainsi que la teneur en matières en suspension et en substances nutritives. (En Ontario, le sulfure d'hydrogène a posé des problèmes dans certaines terres marécageuses.) Cependant, les organismes de réglementation ne sont peut-être pas encore convaincus que c'est là un moyen acceptable d'améliorer le lagunage.

Yves Dubuc, de l'École polytechnique de Montréal, a étudié quatre ans l'épuration en tourbière; selon lui, on peut obtenir de l'eau exempte de germes pathogènes à partir d'effluents de fosses septiques en les faisant s'écouler à travers à peu près 1 km de tourbe. Ce genre de traitement donne de bons résultats partout où on l'emploie au Canada: la DBO et la teneur en matières en suspension baissent à des valeurs satisfaisantes et les effluents ne contiennent ni phénols ni sulfure d'hydrogène.

2.2.4 Lagunage aéré. - Il existe différents dispositifs d'aération en surface ou en profondeur. Dans les installations des régions froides où l'eau est traitée même sous la glace, on préfère des diffuseurs d'air immergés aux aérateurs mécaniques en surface. On dispose de données sur la teneur en oxygène dissous mesurée en Ontario dans des bassins de lagunage recouverts de glace et de neige utilisant ce genre de dispositifs d'aération.

Les aérateurs sont employés pour le lagunage aéré aérobie à mélange intégral, et pour le traitement en milieu facultatif aéré à mélange partiel.

Divers participants sont venus expliquer ce qu'ils ont appris sur la conception et l'exploitation des installations de lagunage aéré:

- Les représentants du ministère de l'Environnement de l'Alberta ont fait l'analyse comparative de deux installations de lagunage aéré en profondeur qui donnent de très bons résultats. Dans les deux cas, les eaux à traiter séjournent trois ou quatre jours dans un petit bassin de rétention à mélange intégral; elles passent ensuite 25 jours dans un bassin de lagunage aéré en milieu facultatif où l'oxygénation est moins intense, puis subissent environ 4 jours d'affinage sans aération. Dans l'une des installations, on se sert d'aérateurs tubulaires fixes, dans l'autre, d'un diffuseur d'air.
- On a décrit la méthode de conception employée au Service de gestion des eaux usées municipales du ministère de l'Environnement du Québec, ainsi que les études réalisées à l'École polytechnique de Montréal pour le compte de cet organisme afin de

déterminer les valeurs de travail des coefficients K et θ qui s'appliquent à cette méthode de conception. Il a été impossible d'obtenir une corrélation satisfaisante entre les coefficients déterminés en laboratoire et les valeurs réelles calculées d'après les données recueillies sur trois ans dans une installation de lagunage aéré du Québec.

- Il est difficile de reproduire les valeurs du coefficient K, même lorsqu'on le fait en laboratoire par les méthodes du respiromètre de Warburg et de la DBO, parce que les tests influent sur les résultats de l'analyse.
- Le Dr Thirumurthi a obtenu une bonne corrélation entre les résultats obtenus en conditions réelles à l'Île-du-Prince-Édouard et avec la méthode de conception élaborée en appliquant un débit d'alimentation standard et des valeurs de K et de θ déterminées d'après des travaux de laboratoire.
- Pour le traitement de rejets de nature inconnue qui contiennent des effluents d'origine industrielle, il est essentiel de faire des études en laboratoire pour déterminer la valeur approximative des vitesses de réaction et des divers facteurs de correction qui s'appliquent aux modèles de conception.
- Dans une installation de lagunage aéré, on peut déphosphorer les eaux dans une mesure acceptable par des moyens chimiques. L'alun est le coagulant préféré. Il existe une relation linéaire entre la déphosphoration et la quantité de coagulant prévue par le concepteur.

Lagunage aéré aérobie à mélange intégral. - Avec ce procédé, la demande en oxygène est satisfaite et l'apport énergétique est suffisant pour que toutes les matières organiques restent en suspension; la charge massique est la même en tout point du bassin. Les bassins aérés et aérobies doivent être suivis d'autres bassins où les matières solides sont décantées.

Lagunage aéré en milieu facultatif à mélange partiel. - Avec ce procédé, la demande en oxygène est satisfaite, mais l'apport énergétique est insuffisant pour que toutes les matières organiques restent en suspension. Bien que les couches superficielles demeurent en aérobiose, celles du fond sont en anaérobiose.

2.2.5 Modèles de lagunage en milieu facultatif aérobie. - Lorsqu'on élabore un modèle de lagunage, on cherche à reproduire les réactions qui se déroulent dans le bassin; le modèle permet de déterminer logiquement le rendement du lagunage et les différents modes d'exploitation possibles. Un bon modèle doit être fondé sur une théorie éprouvée; il

doit être assez simple pour être utile en pratique. Malheureusement, il n'existe actuellement aucune formule précise qui rende compte des facteurs ayant une réelle influence sur le rendement du procédé.

Le modèle de Thirumurthi, qui s'est déjà acquis une certaine réputation, s'inspire de l'écoulement en régime d'équilibre dans un bassin d'une région plus tempérée, où l'eau ne gèle pas. Il tient compte de la charge en matières organiques, de la dispersion, du temps de séjour, de l'énergie solaire, de la température et de la toxicité des eaux à traiter, mais non de la profondeur du bassin et de la charge en organismes benthiques. En conditions normales, soit à une température de 20 °C et avec une charge en matières organiques correspondant à une DBO de 67,2 kg/ha . jour, le coefficient d'élimination de la DBO du premier ordre, Ks, est de 0,056/jour, et le coefficient de température, θ, est d'environ 1,036.

Dans un bassin recouvert de glace et de neige, la réduction de l'apport d'énergie lumineuse se traduit par une baisse de la teneur en oxygène dissous et, en profondeur, la réduction de la DBO est moindre. Le modèle du Dr Thirumurthi ne tient pas compte de ce genre de conditions.

Le coefficient de température Γ n'est pas constant. Comme on en connaît mal la variance à basse température (< 10 à 12 °C), il faut le déterminer en laboratoire cas par cas.

Selon le Dr Thirumurthi, on ne pourra probablement jamais formuler une équation précise, mais avec les modèles dynamiques informatisés, il devrait être possible de déterminer l'efficacité du processus à 20 p. 100 près de la valeur réelle.

Étant donné l'état actuel de nos connaissances, des modèles raisonnables inspirés des résultats obtenus dans des installations efficaces sont, dans la plupart des cas, plus acceptables que les modèles dont il faut attribuer aux paramètres des valeurs hypothétiques.

2.3 Mise en oeuvre: éléments à considérer dans l'élaboration d'un Plan de recherche national sur le lagunage en régions froides

2.3.1 Orientation de la recherche. - L'objectif est d'améliorer le rendement du lagunage à des coûts acceptables. Pour atteindre cet objectif, il nous faut:

- Comprendre les aspects fondamentaux des interrelations physiques, chimiques et biologiques du lagunage.
- Mieux comprendre l'influence de la géométrie de l'aménagement, notamment le nombre de bassins et leur profondeur.

Ces connaissances pourraient nous servir à:

- Rationaliser les facteurs fondamentaux qui influent sur le rendement du lagunage, au profit, notamment, de la modélisation.
- Élaborer des critères applicables pour les installations de petite et grande capacité à vidange continue, intermittente ou nulle, à temps de séjour court ou prolongé.

2.3.2 Détermination des travaux à réaliser. - Dans le cadre du programme de recherche réalisé au cours des cinq années précédentes à l'Université de Toronto, à l'Université de l'Alberta et à l'École polytechnique de Montréal, on avait délimité six grands champs de recherche et retenu pour chacun un certain nombre de sujets.

Comme point de départ, D. Smith a remis à chacun des participants de l'atelier une description des 42 projets dont il a été question en 1.2. En se basant sur les débats des deux journées précédentes, les participants ont ajouté à cette liste 23 sujets, portant ainsi à 65 le nombre de projets envisagés.

Une nouvelle liste fut dressée, puis on a demandé à chacun des participants de choisir les 10 projets leur paraissant les plus importants et de les classer par ordre de priorité (voir à l'Annexe C). (On énumère au tableau 1 de la partie 1.8 les 10 projets présentant le plus d'importance ou d'intérêt pour les participants.)

2.3.3 Questions soulevées au sujet des projets de recherche. - Cette partie des Actes porte sur les principales questions qui ont été soulevées au sujet des projets de recherche durant les travaux de l'atelier et sur les réponses que divers participants ont données vendredi matin dans le cadre du thème "Mise en oeuvre".

Il est impératif de recueillir des données adéquates, surtout lorsqu'elles doivent servir à élaborer des normes et des directives applicables à l'exploitation. Les connaissances que nous apportent les travaux de laboratoire et les études en conditions réelles nous aident à déterminer les relations pratiques sur lesquelles se fondent les méthodes de conception et d'exploitation des installations de lagunage. Les données qu'on a recueillies sur le lagunage en Alberta sont un excellent exemple du genre de renseignements qu'il faut rassembler au sujet du lagunage dans les Territoires du Nord-Ouest et au Yukon. Nous ne possédons aucun renseignement sur le lagunage dans les régions nordiques et pourtant, on peut supposer que l'adaptation aux conditions climatiques et géotechniques dans ces lieux peut faire une grande différence.

Il nous faut recueillir des données sur la qualité des effluents pour savoir si les installations d'épuration satisfont aux normes. Lorsqu'il s'agit de déterminer si les critères d'évaluation de la qualité sont valables, certains gouvernements estiment que les analyses

nécessaires relèvent du domaine de la recherche et tentent de trouver des sources de financement extérieures. Lorsqu'il s'agit de vérifier si les installations satisfont aux normes, les analyses sont très coûteuses: ainsi, l'évaluation de la DBO, des matières en suspension et des coliformes totaux, paramètres de base en génie sanitaire, peut revenir, par exemple, à 500 $/installation pour chaque échantillon.

Si les organismes de réglementation imposaient des programmes d'analyse pour l'obtention d'un permis, nous aurions des données plus complètes sur le lagunage en régions nordiques.

On n'a encore jamais affecté de ressources humaines ou matérielles à l'étude du lagunage dans les régions nordiques. De plus, les localités sont tellement éloignées les unes des autres qu'il est difficile d'y organiser des programmes de surveillance. L'amélioration du transport aérien nous permettra peut-être un jour de surmonter cette difficulté.

Certains participants ont parlé du problème que soulève l'étude de la conception, de l'aménagement et du rendement des installations de lagunage au Yukon. Il existe une douzaine d'installations de ce genre dans cette région. Certaines ont été agrandies au fil des années et les nouveaux aménagements reflètent les différences de conception des divers experts-conseils, différences qui touchent même des détails comme les matériaux employés. Il faudrait notamment recueillir des données sur les dispositifs de branchement et de vidange et demander aux opérateurs de faire un rapport sur les qualités et les défauts de leur installation.

Il serait bon de demander aux organismes fédéraux et provinciaux de nous transmettre les données compilées sur des formules normalisées. Ces formules doivent être conçues de façon à faciliter le transfert des renseignements fournis dans une banque de données informatisées. Dans certaines provinces, notamment en Alberta et en Ontario, on a commencé à utiliser des systèmes de traitement de données informatisées.

Rien ne garantit cependant que les données recueillies seront utilisées. Au lieu de nous attarder à recueillir des données d'un millier d'installations dont l'utilité paraît douteuse, pourquoi ne pas affecter les ressources matérielles disponibles à l'étude d'installations qui nous serviraient à recueillir les renseignements recherchés. Il faudrait dans ce cas déterminer les installations-cibles.

Tant que les méthodes d'échantillonnage ne seront pas un tant soit peu uniformisées, l'utilité des données peut être mise en doute. L'uniformisation de l'échantillonnage devrait permettre d'utiliser toutes les données malgré la diversité des installations de lagunage.

Jusqu'en 1982, le ministère de l'Environnement de l'Ontario a produit des rapports sur les installations de lagunage où l'on présentait une description des lieux, des croquis, le mode d'exploitation et des données sur le rendement pour les années précédentes. On a cessé de produire ces rapports. Les données qu'on recueille encore sur l'exploitation ne sont cependant pas informatisées. (Les caractéristiques physiques des installations ne sont pas fournies.) Même avec ces rapports pourtant assez détaillés, il faudrait remonter aux fichiers originaux pour être en mesure d'évaluer correctement les données qu'ils contiennent; bien souvent, ces fichiers n'existent plus. La valeur des données sur lesquelles seraient fondés les critères de conception et de rendement doit être vérifiée. Cette vérification n'est pas des plus faciles.

On a aussi parlé du travail accompli pour recueillir les données dont on fait état dans le rapport SPE 5/UP/1, décembre 1984, portant sur une cinquantaine d'installations de traitement ("Coûts d'exploitation et d'entretien des installations de traitement des eaux usées municipales, 1980"). À elles seules, la compilation des données, l'informatisation et l'analyse préliminaire ont demandé une somme de travail considérable.

Il doit exister des données d'exploitation pour plus de 100 installations de lagunage en Ontario, de même qu'en Alberta. Un choix éclairé d'un petit nombre d'entre elles devrait permettre d'obtenir des données valables, et de tirer des conclusions générales.

Élaboration de normes de surveillance (Projets 44, 45, 54, 61)

Normalisation de l'échantillonnage. - (Analyse statistique des données recueillies en conditions réelles et lignes directrices de l'interprétation et de l'application des résultats pour la conception et l'évaluation du rendement de divers types d'installations de lagunage).

Avant de passer à la conception, il faut fixer des objectifs précis sur la qualité des effluents.

Si toutes les données étaient recueillies selon la même méthode, les chercheurs pourraient s'en servir en toute confiance pour mettre au point des modèles valables et en faire l'interprétation de telle sorte que les concepteurs puissent les employer pour concevoir des installations donnant les résultats voulus.

Analyse. - Il faudrait élaborer des directives sur les points suivants:

- méthodes à suivre pour recueillir des données propres à l'analyse;
- méthodes d'analyse recommandées, notamment en ce qui a trait au calcul des moyennes (arithmétique, logarithmique et géométrique), de façon que les résultats

des analyses puissent s'interpréter correctement. Certains doutent de la valeur de l'essai de la DBO normalisé comme méthode d'évaluation du rendement du lagunage. Il se pourrait que d'autres tests soient plus indiqués, notamment le dosage du carbone organique total (COT) et la mesure de la demande totale en oxygène (DTO).

Élimination des odeurs (Projet 33). - Les odeurs sont à l'origine de la plupart des problèmes avec le public. Par le passé, on pouvait aménager les installations d'épuration loin des villes mais de nos jours on ne trouve pas toujours le terrain nécessaire. Il faut trouver le moyen d'éliminer les odeurs si l'on veut que le lagunage reste le mode d'épuration des eaux usées le plus économique.

Nous devons déterminer quels sont les processus qui concourent à l'émanation d'odeurs; plus précisément, il s'agit de savoir quelle influence peuvent avoir la nature des rejets traités, le dimensionnement des bassins et les conditions météorologiques. Pour évaluer correctement les moyens employés pour combattre les odeurs, il nous faut des méthodes qui nous permettent d'évaluer l'intensité des odeurs en conditions réelles et ce, tant au point de vue quantitatif que qualitatif. Ces conditions remplies, nous pourrons rationaliser la conception et l'exploitation des installations de lagunage de façon à empêcher l'émanation d'odeurs.

Évaluation des organismes indicateurs de la présence de germes et d'organismes pathogènes (Projet 46). - *E. coli* ne remplit pas toutes les conditions. Certains doutent de sa valeur comme indicateur en eau froide. Les eaux usées contiennent non seulement des bactéries mais aussi d'autres entéro-organismes pathogènes, notamment des virus, des protozoaires, des helminthes et des mutants bactériens. C'est par ces derniers que s'acquiert la résistance aux antibiotiques. Il faudrait voir si la présence et l'abondance des coliformes fécaux est indicative de la présence et de l'abondance des bactéries pathogènes. On sait que les bactéries coliformes fécales ne sont pas des indicateurs très représentatifs de l'abondance des virus et des protozaires.

Définition des mécanismes de biocinétique intervenant dans un bassin de lagunage recouvert de glace (Projet 1). - Par le passé, la plupart des études de lagunage ont été effectuées par temps doux, alors que l'accès aux installations de lagunage était facilité. Nous n'avons donc pas beaucoup de données sur le lagunage par temps froid, en hiver, lorsque les bassins sont recouverts de glace et de neige.

Au début du printemps, une fois que la glace a fondu, les gaz qui se sont formés en anaérobiose durant l'hiver s'échappent à la faveur du brassage naturel des eaux. Il nous faut en apprendre davantage sur ces gaz, car ils sont la cause des odeurs qu'on cherche à

éliminer. La glace et la neige qui recouvrent les bassins réduisent l'intensité et la profondeur de pénétration des rayons solaires ce qui, avec le refroidissement des eaux, ralentit la croissance des algues. Dans ces conditions, la désinfection naturelle est également limitée. La glace et la neige bloquent aussi la pénétration de l'oxygène atmosphérique; pourtant, en Ontario et au Québec, on a trouvé de l'oxygène dissous dans des bassins couverts de glace. La plupart des coefficients appliqués aux modèles de conception empiriques et analytiques n'ont pas été étudiés à basse température. Lorsque la température baisse en deçà de 7 ou 8 °C, les équations employées ne sont plus valables, car on n'a pas déterminé quels facteurs de correction s'appliquent au-dessous de 7 °C.

Certains chercheurs ont étudié les changements d'activité microbienne qui s'observent lorsque les organismes psychrophiles supplantent les organismes mésophiles dans la flore bactérienne.

Il nous reste beaucoup à apprendre sur la biocinétique du lagunage sous la glace avant de pouvoir améliorer l'efficacité du traitement en hiver et empêcher l'émanation d'odeurs désagréables au printemps.

Critères régissant la conception des petits bassins de lagunage (Projet 49). - Il faut se demander si la conception des petites installations d'épuration (desservant de 100 à 400 usagers) peut suivre les mêmes principes que celle des installations de grande capacité.

Par exemple, dans le nord du Québec, au-delà de la limite forestière, on trouve des localités bâties sur le pergélisol du Bouclier canadien. Dans cette région, les affleurements rocheux sont nombreux et le sol n'est pas profond. Il est impossible d'installer des canalisations d'égout pour ces petites agglomérations. Il faut compter au moins 800 habitants pour justifier les coûts d'un tel système. Les eaux usées des habitations s'écoulent dans des fosses septiques vidangées par des camions. En hiver, les bassins de lagunage gèlent complètement et la couche de glace qui se forme en surface mesure de 1,8 à 2,2 m d'épaisseur au moins. Les camions déversent leur chargement sur la glace et les eaux usées gèlent en couches superposées. Il s'agit de savoir:

- comment la biomasse réagit au printemps; et
- si les lagunes peuvent retrouver sans problème leur équilibre. À la différence des bassins où l'eau ne gèle qu'à une certaine profondeur, l'eau gèle complètement dans ces installations, de sorte qu'il n'y a pas d'ensemencement.

Dans les agglomérations des régions nordiques, le lagunage pose de nombreux problèmes parce que le volume des eaux à traiter est faible et qu'il est impossible

d'employer des dispositifs d'alimentation et de vidange submergés à cause du froid intense.

Le ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada possède de nombreuses installations de lagunage de petite capacité où l'on ne retrouve aucun des problèmes qui se posent dans les grandes installations en ce qui a trait, par exemple, à l'expansion, l'adaptabilité, l'élimination des boues, les eaux industrielles et la protection contre l'érosion. Il serait donc fort utile qu'on élabore des critères de conception spécialement pour les installations de petite capacité.

Critères de conception pour l'optimisation de l'élimination des germes pathogènes (Projet 56). - L'élimination des bactéries est l'un des principaux but du lagunage dans les régions nordiques. Il y aurait lieu d'établir des critères pour optimiser l'élimination des germes pathogènes. Comme dans certaines régions du sud, il faut faire séjourner les effluents dans des bassins de stabilisation de faible profondeur pour favoriser la réduction bactérienne naturelle. Il faudrait des critères de conception portant sur le genre de bassin ou de traitement à prévoir pour améliorer la réduction des populations d'organismes pathogènes avant la vidange des effluents. Il s'agit de voir s'il est possible de tirer un meilleur parti des processus de désinfection naturels qui interviennent durant le lagunage, ou s'il vaut mieux employer à cette fin les désinfectants et les rayons ultra-violets, moyens plus coûteux.

Amélioration de l'efficacité du lagunage par l'utilisation des marécages ou d'autres milieux aquatiques (Projet 39). - Le traitement des effluents de lagunage en terre marécageuse peut donner de bons résultats au point de vue de l'élimination des substances nutritives et de l'affinage. On étudie ce procédé en Saskatchewan, dans les Territoires du Nord-Ouest, en Ontario et au Québec.

En Ontario, en Saskatchewan et en Colombie-Britannique, on a cherché à voir s'il est possible d'améliorer la qualité des effluents de lagunage par un traitement en marécage artificiel. En Ontario, on s'est heurté à certains obstacles touchant la conception et l'exploitation, essentiellement à cause de l'ammoniaque, des phénols et du sulfure d'hydrogène.

L'écosystème du bassin de lagunage pourrait être entièrement modifié par l'introduction de plantes aquatiques possédant les propriétés adéquates (lentilles d'eau, cypéracées, typhacées ou autres) ou de substrats artificiels en plastique. Les bactéries et les autres organismes brouteurs peuvent s'y fixer au lieu de se déposer au fond du bassin. Il faut approfondir cette question et étudier les aspects économiques de la cueillette et de la mise en valeur de la biomasse végétale produite par ce moyen.

Les renseignements qu'on possède sur la pisciculture en lagunes dans les régions froides sont également maigres. On a réalisé une étude sur la question dans les installations de Port Perry (Ontario): les alevins de dorés survivants à la fin de la saison pesaient environ 26 g. Lorsqu'ils ont atteint ce poids, ils se nourrissent de larves de mouches et de daphnies. Si l'on perfectionnait les méthodes employées, on pourrait élever ce poisson pour repeupler les cours d'eau où les populations de dorés sont trop clairsemées.

Modèle dynamique du lagunage (Projet 47). - Nous ne pourrons peut-être jamais produire un modèle ou une équation qui nous permette de prévoir la qualité des effluents avec exactitude, mais il devrait être possible d'obtenir une précision de l'ordre de 20 p. 100. Un tel modèle pourrait être amélioré au fil des années; pour ce faire, il faudrait financer une étude pendant au moins trois ans, plutôt que plusieurs études d'un an chacune.

La plupart des études réalisées jusqu'ici sur la question ont été incomplètes, trop courtes et insuffisamment financées, si bien que nous nous retrouvons maintenant avec un grand nombre de recherches fragmentaires.

Pour réaliser le projet 47, il faudrait étudier des modèles en laboratoire, car la modification, le contrôle et la comparaison des variables mises en jeu peuvent s'y faire facilement et plus rapidement qu'en conditions réelles. Les résultats des travaux de laboratoire et les renseignements tirés de la documentation consacrée à la question seraient versés dans des banques de données et intégrés à des programmes informatisés, de sorte qu'on pourrait s'en servir pour améliorer non seulement les plans d'étude mais aussi les modèles.

Une fois cette étape franchie, on pourrait passer à l'étude d'installations de lagunage à l'échelle pilote et faire des travaux aussi poussés qu'à Winnipeg lorsqu'on a étudié le lagunage aéré vers la fin des années 1960 et au début des années 1970.

Après avoir bien intégré les résultats des travaux de recherche en laboratoire, des analyses de données, et des études en conditions réelles avec les derniers progrès théoriques, on pourrait aménager une installation de démonstration et réaliser des contrôles et des analyses poussées des données, comme dans les travaux présentés à l'atelier par les représentants du ministère de l'Environnement de l'Alberta.

À la fin de cette démarche, il faudrait fixer les objectifs du traitement, c'est-à-dire définir la qualité d'effluent recherchée. Pour ce faire, il nous faut comprendre comment sont interreliées la théorie, la qualité recherchée (valeurs) et les valeurs réelles. Il s'agit ensuite de savoir dans quelle mesure nous pouvons financièrement nous permettre d'ajuster ces valeurs.

En Alberta, la qualité des effluents ne répond pas aux objectifs en automne. Il s'agit de savoir dans quelle mesure nous pouvons ajuster le traitement et, en fait, quels facteurs peuvent être optimisés. Une fois qu'on a décidé de la capacité d'un bassin et que celui-ci a été aménagé, il est impossible de modifier les conditions du traitement à cause des temps de séjour prolongés. Nous sommes limités par les méthodes appliquées: s'il faut une DBO de 22,4 kg/ha . jour, c'est sur cette valeur que le concepteur se base. Les possibilités d'ajustement sont très limitées. Il nous faut considérer les programmes d'un point de vue environnemental et ce, à l'échelle nationale. Nous devons les étudier, ainsi que l'ordre de priorité de certains d'entre eux en particulier, puis décider où affecter nos ressources. Les projets de recherche retenus doivent apporter quelque chose aux installations actuelles.

Certes, il est très difficile de modifier le traitement une fois l'aménagement terminé. Nous pouvons néanmoins modifier:

- le temps de vidange;
- le mode de vidange;
- la profondeur des bassins; et
- la charge par unité de superficie.

L'ajustement de ces facteurs ne nous permet pas d'exercer un contrôle très précis, mais il produit quand même un effet.

Les approches utilisées pour la conception des installations de lagunage seront toujours nombreuses car les conditions diffèrent d'une région à l'autre au Canada. Ainsi, dans les Prairies où le terrain n'est pas difficile à trouver, on peut envisager des temps de séjour de douze mois et même plus. Le lagunage avec temps de séjour prolongé est donc la méthode indiquée. Par contre, dans les régions où le terrain est rare, il faut considérer d'autres méthodes; le plus souvent, on choisit le lagunage aéré.

Il ne serait donc pas inutile d'approfondir la question ou au moins de quantifier les paramètres des procédés actuels pour voir si certaines des installations pourraient être améliorées.

2.3.4 Résumé. - Durant la séance, nous avons déterminé la nature et l'ordre de priorité des domaines d'application de divers programmes jugés utiles pour le plan de recherche national sur le lagunage en régions froides. Les points sur lesquels les participants se sont entendus sont repris dans les Actes de l'atelier non seulement à l'intention des participants mais aussi de tous ceux qui s'intéressent au lagunage en régions froides et qui n'ont pu assister à cette rencontre.

Dans la partie 2.4, on fait état de propositions ayant trait aux mesures à prendre pour suivre et soutenir la réalisation du plan. On indique aussi par quel mécanisme chacune des mesures proposées pourra être mise en oeuvre. Toutes les mesures qui concourent à la réalisation du programme nécessitent des ressources humaines et financières que seraient appelées à fournir les parties intéressées des milieux gouvernementaux, universitaire et industriel.

Avant tout, il faut former un groupe de coordination représentatif qui sera chargé d'élaborer et de mettre en oeuvre le plan de recherche national sur le lagunage en régions froides.

2.4 Suites de l'atelier

Tous les participants de l'atelier devront s'engager à fond dans la mise en oeuvre du plan de recherche national sur le lagunage en régions froides.

2.4.1 Organisation. - Il faut commencer par former un groupe, plus précisément un comité de direction permanent, qui veillera à l'élaboration et à l'administration du plan de recherche national sur le lagunage en régions froides.

Composition du comité directeur. - Idéalement, pour être en mesure de veiller sur tous les intérêts mis en jeu par l'avancement de la technologie du lagunage, le comité devrait se composer de représentants des grandes régions et des principaux secteurs d'activité choisis parmi les participants de l'atelier.

Activités du comité directeur. - En prévision de la mise en oeuvre des dix projets jugés les plus importants et du transfert des connaissances, il y a lieu de:

- Parachever le plan et déléguer les fonctions liées à sa mise en oeuvre.
- Coordonner et administrer les fonctions déléguées.
- Encourager la participation des opérateurs.
- Organiser des rencontres nationales ou régionales semi-annuelles pour faire le point.
- Encourager la production de rapports trimestriels pour rendre compte de l'état des travaux et transmettre les dernières nouvelles sur le lagunage.
- Monter une banque de données centrale et un système permettant d'accéder aux renseignements qui y sont versés.
- Publier des manuels pratiques sur la conception, l'aménagement et l'entretien des installations de lagunage en régions froides.

2.4.2 Objectifs de l'organisation dans son ensemble

- Étudier les problèmes posés par la conception, l'aménagement et l'exploitation des installations de lagunage et examiner les nouvelles approches proposées en vue d'améliorer le rendement et obtenir des résultats plus uniformes.
- Rassembler et traiter les données dont on dispose sur la question pour les transmettre aux concepteurs et aux opérateurs.
- Veiller aux différents besoins des diverses régions du Canada.
- Tenir compte du caractère politique des changements de réglementation, c'est-à-dire en évaluer la nécessité et les avantages en considération de leur coût.
- Mieux comprendre les aspects biologiques et physico-chimiques des processus qui se déroulent dans un bassin de lagunage.
- Appliquer les connaissances ainsi acquises à l'élaboration de modèles de conception mathématiques.

2.4.3 Stratégie. - Il vaut mieux que les ressources humaines et financières soient affectées à l'étude d'un groupe représentatif d'installations plutôt qu'au rassemblement et au traitement de données anciennes qui pourraient se révéler peu utiles.

Les données recueillies pour les analyses proviendront de l'étude approfondie de certaines installations représentatives qui feront l'objet d'un contrôle suivi.

Même lorsqu'on s'entend sur l'utilité d'une innovation technique, il est fréquent que l'amélioration proposée ne commence à se concrétiser que bien longtemps après qu'on ait avancé l'idée. Beaucoup se découragent. Bien comprendre le lent cheminement de notre progression est essentiel pour garder le moral. Notre tâche est de celles qui demandent du temps.

2.4.4 Projets retenus en priorité. - Comme il est impossible de mettre en oeuvre les 65 projets de recherche recommandés, nous avons déterminé les grands domaines à considérer en priorité. Il faudra des personnes d'expérience pour chacun de ces domaines, et les travaux entrepris devront être suivis. S'ils n'avancent pas comme prévu, il faudra trouver pourquoi et remédier à la situation.

Nous devons déterminer quels domaines doivent être considérés en priorité en tenant compte des besoins et des problèmes actuels. Sachant que la situation peut changer, il nous faut un mécanisme qui nous permettra d'adapter notre ordre de priorité en conséquence.

Comme nous voulons faire l'étude approfondie de 25 installations de lagunage, la préparation d'une liste de toutes les installations en place vient en tête des priorités; cette liste nous permettra de choisir de façon éclairée les 25 installations-cibles.

2.4.5 Activités

- Préparer un plan de mise en oeuvre du programme de recherche.
- Rendre compte tous les 3 mois des projets en cours.
- Réunir chaque année le comité directeur pour faire le point sur l'état des travaux.
- Organiser des rencontres et des ateliers à l'échelle régionale et nationale pour rendre compte des nouvelles connaissances acquises.
- Dans le cadre de ces rencontres, faire le point sur les objectifs et l'orientation du programme.
- Publier:
  - la liste des publications présentées;
  - la liste des dernières publications dans le domaine;
  - un bulletin sur le lagunage;
  - des feuillets de mise à jour sur l'état des travaux; et
  - la liste des installations de lagunage recensées.

2.4.6 Responsabilités que pourrait déléguer le comité directeur

- Réalisation des études des installations actuelles de lagunage:
  a) étude de l'efficacité du traitement et de la qualité des effluents dans les installations à vidange saisonnière (Projet 26);
  b) étude des problèmes et des nouvelles solutions proposées (Projet 27).
- Coordination des activités entreprises pour répondre aux besoins ayant trait aux points suivants:
  a) exploitation et entretien des installations de lagunage (Projets 44, 45, 54, 65);
  b) aspects biologiques et physico-chimiques de la théorie et de la conception de ces installations (Projets 1, 39, 49, 56).
- Diffusion de l'information par des publications et des échanges pouvant s'effectuer dans le cadre de diverses activités, dont certaines ont été mentionnées en 2.4.5. Les personnes remplissant ces fonctions pourraient aussi veiller à la réalisation d'une étude documentaire, car il faut régulièrement faire le point pour éviter des dédoublements de travaux. Les responsables qui s'acquitteront de ces fonctions devront donc:

- Demander l'aide de divers organismes gouvernementaux pour le financement des travaux à réaliser en priorité et des éventuels programmes de contrôle.
- Veiller à ce qu'un certain nombre des activités prioritaires soient réalisées, ou du moins entreprises, dès l'année prochaine.
- Organiser régulièrement des rencontres en fonction des intérêts et des besoins.
- Diffuser des renseignements sommaires sur les domaines de recherche, car la préparation d'un manuel de conception n'aura pas encore été entreprise.

2.4.7 Engagement. - Une fois que les besoins seront connus et que leur ordre de priorité sera établi, les personnes intéressées pourront étudier toutes les implications et les activités qui s'y rattachent. Chacun pourra ensuite décider de quelle façon il pourrait contribuer à la réalisation des objectifs fixés.

2.5 Clôture des travaux

Nous avons demandé à divers représentants des gouvernements, des firmes d'experts-conseils et des universités de clore les travaux par un bref exposé.

Organismes de réglementation gouvernementaux. - Les organismes de réglementation gouvernementaux reconnaissent qu'il est nécessaire de trouver de nouvelles idées et de recueillir des renseignements utiles à l'élaboration de directives et de règlements. Il nous faut aussi comprendre que:

- les besoins diffèrent d'une région à l'autre à cause de la diversité géographique;
- les changements de réglementation se décident sur le plan politique et non technologique;
- l'important délai entre les idées innovatrices et leur mise en oeuvre tend à saper le moral, aussi faut-il être patient.

Experts-conseils. - Au Canada, le lagunage est le mode de traitement employé dans plus de la moitié des installations d'épuration municipales: on compte plus de 1000 installations de lagunage au pays, dans l'Ouest pour la plupart. Malgré tout, nous savons très peu de choses sur la question. Pour combler cette lacune, nous avons identifié 65 projets. Comme il est impossible de les réaliser tous, nous devons établir un ordre de priorité en fonction des domaines d'expérience; chacun d'entre nous doit décider ce qu'il peut faire pour contribuer à la réalisation des objectifs que nous nous sommes fixés.

L'intérêt que cet atelier a suscité ne doit pas disparaître. Il faudra organiser une nouvelle rencontre dans deux ans pour:

1) Faire le point sur les progrès techniques réalisés.
2) Discuter des problèmes qui entravent l'avancement des travaux dans les domaines jugés prioritaires.
3) Voir quels sont les nouveaux besoins et revoir l'ordre de priorité en conséquence.

Déjà, l'atelier a fait ressortir des idées qui peuvent avoir des applications immédiates dans la conception des installations de lagunage: par exemple, on a proposé l'aération prolongée pour éliminer l'azote, un composant des effluents pour lequel les critères d'évaluation sont de plus en plus stricts.

L'atelier a aussi fourni une excellente occasion d'échanger des idées. Nous avons ainsi appris:

- ce qui se fait dans les milieux universitaire, industriel et gouvernementaux, et ce qu'il reste à faire;
- où trouver de nouveaux renseignements sur le lagunage, plus précisément sur les aspects particuliers au Canada;
- de quels aspects on se préoccupe en conception.

Il est à espérer qu'aux prochains ateliers, on pourra proposer des moyens pour régler des problèmes de conception, par exemple, la réduction des populations bactériennes et l'élimination des odeurs. D'ici là, nous devons être tenus au courant des progrès de la recherche, peut-être par la publication d'un bulletin annuel et de résumés périodiques rendant compte de l'avancement des travaux.

Milieu universitaire. - La plus grande partie des travaux de l'atelier ont porté sur le lagunage en l'absence de glace et de neige. Il serait très utile de savoir ce qui se passe dans une lagune recouverte de glace et de neige, conditions normales des installations en régions froides. Pour l'instant, nous connaissons très mal la question.

Pour certains des problèmes soulevés, il y a déjà des solutions; par exemple:

- élimination des algues des effluents (microdégrillage); et
- coefficient de température (θ).

D'autres problèmes restent par contre sans solution. C'est le cas, par exemple, de l'érosion.

L'atelier a montré que le lagunage n'est pas un procédé aussi simple qu'on pourrait le croire.

2.6 Évaluation de l'atelier

À la fin des travaux, les participants ont rempli un formulaire dans lequel on leur demandait d'évaluer l'atelier. On trouvera à l'Annexe F une liste de commentaires représentatifs de l'ensemble des participants, sous les rubriques suivantes:

- succès de l'atelier;
- lacunes relevées;
- organisation des prochains ateliers.

L'objectif principal de l'atelier était de déterminer quelles questions devraient être approfondies en priorité; les participants ont estimé que ce but avait été atteint.

3 THÉORIE DU LAGUNAGE ET CONCEPTION

3.1 Situation actuelle

3.1.1 Efficacité du lagunage en Alberta. - Le lagunage (épuration en bassin de stabilisation) reste le procédé le plus employé pour épurer les eaux usées en Alberta. En 1984, quelque 297 sur 363 municipalités traitant leurs eaux usées recouraient au lagunage; 65 p. 100 des installations utilisaient un lagunage anaérobie en milieu facultatif et 35 p. 100, un ou plusieurs bassins de lagunage en milieu facultatif.

En Alberta, les installations de lagunage aménagées suivant les normes comportent:

- deux ou quatre bassins de traitement anaérobie (s'il y a lieu), essentiellement des installations à bassins multiples, disposés en série;
- un bassin de traitement où les eaux séjournent deux mois; et
- un grand bassin où les eaux peuvent séjourner douze mois.

Actuellement, 60 p. 100 des installations permettent un temps de séjour de douze mois.

De 1978 à 1983, on a recueilli 364 échantillons d'effluents de lagunage pour en évaluer la qualité. Les effluents échantillonnés ont été vidangés au printemps, en avril et en mai (en général, à l'époque du ruissellement printanier), ou en automne, aux mois d'octobre et de novembre (en général, après les activités agricoles).

Au printemps, on vidange les bassins d'emmagasinement jusqu'à environ 30 cm du fond pour éviter de brasser les boues déposées. Dans les installations où les bassins d'emmagasinement sont vidangés en automne, le niveau du liquide résiduaire doit être assez élevé pour que les canalisations d'arrivée soient protégées du gel. (Les eaux usées brutes n'ont pas été évaluées.) Les conclusions présentées plus loin découlent de l'analyse de:

- 45 échantillons d'effluents vidangés une fois par année au printemps;
- 49 échantillons d'effluents vidangés une fois par an en automne;
- 117 échantillons d'effluents vidangés deux fois par an au printemps; et
- 153 échantillons d'effluents vidangés deux fois par an en automne.

Pour plus de précisions, voir à l'Annexe D-2.

Conclusions

- Dans toutes les installations où les eaux usées séjournent douze mois, la qualité des effluents était meilleure que celle observée là où les eaux ne peuvent être gardées que six mois.
- C'est dans les installations où la vidange se fait deux fois par an que la qualité des effluents était la moins bonne parce qu'en hiver l'épuration n'est pas très efficace.
- Dans les installations à vidange printanière annuelle et bisannuelle, les effluents du mois de mai étaient de bien meilleure qualité que ceux d'avril. Cette différence vient du fait qu'au mois de mai, la glace a fondu, de sorte que le brassage des eaux est complet.
- C'est dans les installations comportant quatre bassins de traitement anaérobie et au moins deux bassins de traitement en milieu facultatif que les effluents vidangés au printemps ou en automne sont de la meilleure qualité. Aucune installation ne permet une épuration vraiment efficace en hiver.

Étude d'écoulement de trop-plein continu. - Dans cinq installations, on a laissé le trop-plein d'eau s'écouler tout l'été plutôt que de faire une vidange printanière. Le débit de trop-plein a graduellement baissé comme suit:

Mois	Eaux brutes (%)
Avril	100
Mai	75
Juin	50
Juillet	33
Août	25
Septembre	25

Quelques observations

Valeur de la DBO	- mars et avril, de 50 à 60 mg/l (assez élevée); mai (la glace avait fondu et le brassage des eaux était terminé), < 20 mg/l.
Matières en suspension	- juin, augmentation des teneurs (peut-être à cause de la prolifération des algues).

Azote total
Ammoniaque - juin, baisse significative des teneurs.
Phosphore total

Résultats. - La qualité des effluents s'est améliorée. La charge en matières organiques nutritives était moindre, tant sur les plans quantitatif que qualitatif, par comparaison aux effluents vidangés au printemps.

Commentaires. - Pour vérifier ces résultats, il faudrait étudier d'autres facteurs, notamment la température, l'évaporation, l'infiltration, les fuites et le niveau du liquide au printemps.

Autres constatations. - Il y a lieu de signaler également que:

- le traitement est plus efficace dans les bassins dont la profondeur est inférieure à 2 m;
- dans les installations où le temps de séjour est de douze mois, il semble que la profondeur du bassin d'emmagasinement n'influence pas la qualité des effluents.

Ajoutons que ces résultats n'ont qu'une valeur indicative car de nombreuses variables interviennent, notamment:

- différences entre les bassins (dimensionnement et géométrie);
- qualité des eaux brutes et débit d'arrivée;
- état des installations;
- durée du programme d'échantillonnage;
- erreurs d'échantillonnage;
- nombre d'usagers;
- nombre de valeurs ayant servi à déterminer les moyennes.

Contrôle à différents stades de la période de vidange (2 semaines)

Stade	DBO des effluents et teneur en matières en suspension
Après deux ou trois heures	augmentation
À la fin du premier jour	baisse
Presqu'à la fin de la période de vidange	aucun changement
À la fin de la période de vidange	augmentation, surtout de la teneur en matières en suspension

L'augmentation de la teneur en matières en suspension à la fin de la période de vidange pourrait être due au brassage des dépôts formés au fond du bassin. En général, les autres paramètres ont évolué de la même façon.

Ces renseignements représentent un ensemble de données d'importance pour définir la géométrie des bassins de lagunage et les méthodes d'exploitation, qui peuvent être appliquées à un modèle pour définir une qualité d'effluents déterminée.

Les résultats montrent que la nitrification a bien lieu en été, ce qu'on avait constaté dans trois des installations de lagunage dont on fait état dans le *Design Manual and Municipal Wastewater Stabilization Ponds* de l'EPA (EPA-625/1-83-015).

Les résultats concordent aussi avec les données présentées dans diverses publications pour étayer le fait que, dans la plupart des installations où les eaux séjournent trois mois ou moins durant la période d'exploitation, la DBO et la teneur en matières en suspension sont toutes deux supérieures à 30 mg/l. Les critères limitatifs de conception devraient en tenir compte.

3.1.2 Critères de conception des organismes de réglementation et état de la technique. - Nous nous proposons d'examiner ici les critères de conception qu'appliquent les divers organismes qui s'occupent de réglementation dans ce domaine. Les critères qui servent à l'évaluation des effluents varient d'un organisme à l'autre.

En se servant des statistiques disponibles sur le rendement du lagunage, on peut voir si les directives de certains de ces organismes sont réalistes. Nous savons qu'il est impossible d'obtenir sans un quelconque traitement tertiaire, des effluents à DBO et à teneur en matières en suspension de 10 mg/l. Nous savons aussi que dans les installations de lagunage en milieu facultatif à vidange continue, en régions froides, il est impossible de produire des effluents conformes aux exigences applicables aux systèmes mécaniques de traitement secondaire.

Critères d'évaluation de la qualité des effluents dans les Territoires du Nord-Ouest. - Les critères d'évaluation de la qualité des effluents appliqués dans les Territoires du Nord-Ouest sont basés tant sur la nature des eaux réceptrices que sur celle des effluents déversés. Il s'agit de:

- Définir la qualité des eaux usées brutes.
- Évaluer ce qu'une installation de lagunage peut traiter.
- Étudier les propriétés des effluents par rapport à celles des eaux réceptrices.
- Voir si la qualité de l'eau est telle que prévue à la limite d'une zone de mélange.

On procède comme suit: on délimite d'abord, arbitrairement, une zone de mélange de 100 m, puis on cherche à voir s'il faut en modifier l'étendue en fonction d'autres critères:

- pas de mortalité chez les poissons dans la zone de mélange;
- teneur en coliformes inférieure à 100 germes/l à la limite de la zone de mélange, conformément à la norme applicable à la qualité des eaux de boisson brutes.

Malheureusement, cette méthode n'a pas donné les résultats attendus parce que l'épuration est moins efficace que prévu. Ainsi, à Fort Smith et à Norman Wells, il faudrait pour respecter la norme sur la qualité de l'eau de boisson brute, que la zone de mélange mesure 2 km ou que la teneur en coliformes soit réduite d'au moins deux ordres de grandeur.

En général, le lagunage primaire et anaérobie est supposé réduire la DBO de 40 p. 100, la teneur en matières en suspension de 60 p. 100, et la teneur en coliformes totaux de 75 p. 100.

Les effluents de lagunage de Yellowknife (T.N.-O.) présentent les caractéristiques suivantes:

- DBO de 30 mg/l;
- teneur en matières en suspension de 35 mg/l;
- teneur en coliformes < à 10^3/100 ml.

Pourtant, d'après les données recueillies dans les installations de lagunage des T.N.-O. et du Yukon, l'épuration devrait permettre de réduire de 78 p. 100 la DBO et la teneur en matières en suspension; la teneur en coliformes totaux devrait quant à elle baisser d'un ordre de grandeur par rapport à la valeur prévue.

La situation est problématique pour les organismes de réglementation car il leur faut composer avec, d'une part, des directives anciennes et inadéquates et, d'autre part, le fait qu'il faut maintenant améliorer la qualité des effluents de lagunage dans les régions nordiques. Il se peut que le problème soit avant tout politique et que les difficultés techniques soient secondaires. Quoiqu'il en soit, ces deux aspects de la question sont étroitement liés. Nos normes doivent donc traduire la volonté politique prévalente, ce qui suppose que celle-ci doit être transposée en son équivalent technique, donc au niveau de la conception des procédés.

Ces directives, appliquées depuis trois ans, ont au moins eu l'avantage d'avoir attiré l'attention des organismes de régie des eaux sur les problèmes que pose l'utilisation des coliformes comme indicateurs de la présence de micro-organismes pathogènes, malgré la pauvreté des données disponibles. Cette évolution est due aux développements concernant:

- la transmission des facteurs R; et
- les changements possibles des bactéries coliformes.

Le Conseil de la qualité de l'eau examine à nouveau les directives applicables, mais sans l'aide d'une base de données adéquate.

Approche géographique et dynamique. - Pour que cette approche soit efficace, il faut instaurer un programme de surveillance. En général, lorsqu'une norme a trait à la qualité de l'eau, il faut vérifier si elle est appliquée. Toutefois, la réalisation d'un programme de surveillance mobilise beaucoup de ressources humaines (ingénieurs, inspecteurs, administrateurs, etc.). Il est impossible de justifier un programme d'une telle envergure.

Approche du gouvernement fédéral. - Les critères du gouvernement fédéral pour l'évaluation de la qualité des effluents de ses installations sont très stricts:

. DBO_5	20 mg/l
. teneur en matières en suspension	25 mg/l
. teneur en coliformes fécaux	400/100 ml (après désinfection) (méthode de la membrane filtrante (MF))

Ces critères ne s'appliquent ni aux eaux réceptrices ni à la qualité de l'eau. Les installations de lagunage conventionnelles ne permettent pas de les respecter en hiver, et occasionnellement seulement en été.

Approche de l'Alberta. - On compte environ 300 installations municipales de lagunage en Alberta, dont la plupart ont un permis d'exploitation. Un tel permis exige que divers renseignements soient fournis aux autorités responsables. Cette exigence est très importante car c'est le seul moyen pour l'organisme de réglementation de s'assurer que les objectifs fixés sont atteints.

L'une de ces normes a trait à l'aménagement excessif des installations; par exemple, dans une installation de lagunage où la DBO ou la teneur en matières en suspension sont de 8 ou 10 mg/l, on tolère une valeur de 12 ou 13 mg/l, si cette augmentation s'accompagne d'une baisse des frais d'exploitation par suite d'une simplification de l'aménagement. Ces normes sont actuellement réexaminées. La révision devait s'achever au printemps de 1986.

Approche du Manitoba. - Au Manitoba, les normes sont établies en fonction de l'effet que certains produits chimiques présents dans les effluents (par exemple, l'ammoniaque) ont sur les eaux réceptrices mais non sur la DBO à cause des difficultés que cela présente. Cette approche, jugée politiquement avantageuse, peut présenter certains inconvénients sur le plan technologique.

Approche de l'Ontario. - Les normes qui s'appliquent à la qualité des effluents en Ontario sont assez uniformes dans l'ensemble de la province, sauf en ce qui concerne certains cours d'eau récepteurs. Si l'on estime que les effluents déversés dans un cours d'eau donné doivent être d'une qualité supérieure, on fixe les valeurs à respecter en déterminant comment les eaux traitées sont assimilées dans le cours d'eau récepteur. Les conditions spéciales qui s'appliquent aux effluents de la station d'épuration de Milton, même s'il ne s'agit pas d'une installation de lagunage, illustrent ce genre de cas particulier:

. DBO	4,2 mg/l
. phosphore	0,43 mg/l
. ammoniaque	épuration à 90 p.100 (en été; sans objet en hiver)
. chlore résiduel	0,08 mg/l

Pour ce qui est de la teneur des effluents en phosphore total, la norme ontarienne, établie en vertu de l'Accord Canada/Ontario sur la qualité de l'eau des Grands Lacs est de 1 mg/l. (On ne fait aucune distinction entre la teneur en phosphore total et la teneur en phosphore soluble.) Là où le déversement d'effluents contenant du phosphore est interdit en été, on traite les eaux usées dans des bassins de lagunage à rétention saisonnière. La teneur en phosphore fait aussi l'objet de normes spéciales dans les deux cas suivants:

. effluents déversés dans le lac Simcoe	0,3 mg/l
. effluents déversés en été à Stratford	0,1 mg/l

Opinion des experts-conseils. - La conception des installations de lagunage dans les diverses régions du Canada est en grande partie régie par des règlements. Dans les Territoires du Nord-Ouest, les organismes de régie tiennent compte de la capacité de dilution des eaux réceptrices, de sorte que les normes sur la qualité des effluents varient selon l'emplacement de l'installation.

Dans certaines provinces, notamment en Alberta, les critères uniformisés d'évaluation de la qualité des effluents sont plus faciles à appliquer, ce qui assure la production d'effluents de meilleure qualité. Il se peut toutefois que certaines villes de l'Alberta assument des frais excessifs parce que la réglementation exige l'aménagement d'un bassin d'emmagasinement prolongé qui n'est pas vraiment nécessaire, étant donné la capacité de dilution et d'assimilation des eaux réceptrices.

3.1.3 Propriétés des eaux usées. - Lorsqu'on s'intéresse à un procédé, en l'occurrence l'épuration des eaux usées, il faut en considérer l'objet. Ainsi, la dilution,

caractéristique des eaux usées, est un élément très important dans la conception des ouvrages hydrauliques.

La dilution des eaux usées influe sur les fourchettes de nombreux paramètres; par exemple, plus elle est importante, plus les plages de teneur en coliformes fécaux sont grandes. En hydraulique, la dilution des eaux usées influe sur la charge en matières organiques, en organismes fécaux et en matières en suspension (voir tableau 2).

Dans certaines villes, on fait circuler de l'eau en permanence dans les canalisations afin d'en prévenir le gel. Dans ces installations, la DBO des eaux et leur teneur en matières en suspension peuvent être de 50 mg/l au plus. Dans les régions nordiques, cette pratique est très coûteuse.

À Whitehorse, la consommation d'eau est très élevée, soit 440 l/personne/jour; elle s'explique en partie par la circulation d'eau et par le fait qu'une grande proportion s'infiltre dans le réseau d'égouts.

Lorsque le concepteur étudie l'usage qu'on veut faire de l'installation de lagunage, il doit tenir compte du taux d'infiltration et de la circulation d'eau. Les dimensions des canalisations doivent être déterminées en fonction du débit des eaux usées.

Dans les installations municipales, il peut arriver qu'on reçoive des eaux d'origine industrielle qui réduisent l'efficacité du traitement et entraînent l'émanation d'odeurs.

Dilution des eaux usées à l'arrivée aux installations de lagunage	Installations
Eaux brutes (aucune dilution)	Dans bon nombre de réserves amérindiennes et de petites localités du Nord où il arrive souvent que les excréments sont acheminés directement au bassin de lagunage, ou y sont déversés par des camions-citernes.
Eaux moyennement diluées	Camps de travailleurs ou secteurs où l'on s'efforce d'économiser l'eau.
Eaux normalement diluées	Municipalités à consommation d'eau normale et dont les canalisations d'égout sont étanches.
Eaux fortement diluées	Phénomène particulier aux régions intermédiaires du Canada. Ses causes: . circulation d'eau (pour empêcher les canalisations de geler) . réseau collecteur endommagé . infiltration excessive due à la submersion du réseau collecteur.

3.1.4 Accumulation de boues. - Selon un rapport spécial du *Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, U.S. Army Corps of Engineers (*Accumulation Characterization and Stabilization of Sludges for Cold Regions Lagoons*, Special Report 84-8, April 1984), les boues s'accumuleraient à raison de 0,25 m^3 par jour par 1000 personnes. On est arrivé à cette valeur parce que, semble-t-il, plus la température annuelle moyenne des eaux de lagunage est basse, plus l'accumulation de boues par habitant augmente. Certaines données indiquent que l'accumulation de boues dans une installation de lagunage du sud des États-Unis serait nettement moindre alors que le chiffre de 0,25 m^3 avancé pour une région comme les Territoires du Nord-Ouest serait sous-estimé.

Tableau 2
Caractéristiques des eaux usées brutes (d'après Ron Kent)

Population desservie	Débit*	DBO (mg/l)	MS (mg/l)	Coliformes totaux (par 100 ml)
Petite, sacs hygiéniques	0,5	300	360	-
Norman Wells	1,2	-	-	$< 1 \times 10^6$
Yellowknife (valeur réelle**)	-	-	-	$1 \times 96\ 10^6$
Inuvik (valeur prévue)	1,2	250	250	8×10^6
(valeur réelle**)	-	110	-	21×10^6
Fort Smith	1,5	200	200	7×10^6
Whitehorse (valeur prévue)	4,4	70	70	2×10^6
(valeur réelle)	-	< 70	< 70	4×10^6

* Une unité équivaut à 300 l/personne-jour (moyenne présumée).
** On ne peut expliquer pourquoi la numération des coliformes totaux donne des résultats si élevés dans les Territoires du Nord-Ouest sinon par le fait qu'on emploie une méthode différente.

On vient juste de mesurer l'accumulation dans les installations de lagunage de Whitehorse mises en service il y a 6 ans: elle est de 0,77 g/personne-jour, soit à peu près le double de la valeur indiquée dans la documentation. Les boues contiennent en plus une grande quantité d'huile à moteur, ce qui est loin d'en abaisser la toxicité. Il se peut qu'elles soient plus foisonnantes parce que les bassins sont plus profonds et que la température y est très basse.

Dans les installations municipales, l'enlèvement des boues au cours d'une période d'utilisation de 10 ou 15 ans, par exemple, n'est pas une nécessité démontrée. Jusqu'à un

certain point, cela s'explique par la digestion anaérobie. Dans le sud de l'Ontario, région où l'on a de longues périodes tempérées et de courtes périodes de froid, les boues sont soumises à un processus de digestion anaérobie et de tassement peut-être impossible dans les régions plus froides, ce qui expliquerait pourquoi les boues s'accumulent beaucoup plus rapidement dans les régions froides.

L'automne dernier, nous avons mesuré l'accumulation de boues dans des installations de lagunage aéré; elle équivalait à environ 0,17 m^3/jour par 1000 habitants.

Dans les installations de Winnipeg, la plus forte épaisseur de boues mesurée après 16 ans d'utilisation était de 0,3 m, juste devant la bouche de vidange. Dans certains endroits, l'accumulation était nulle.

En Alberta, on a constaté que dans les installations où les bassins en milieu facultatif sont précédés de bassins de traitement anaérobie, il faut curer ces derniers deux ou trois fois durant la vie utile prévue de l'installation.

L'enlèvement des boues des bassins de stabilisation et d'emmagasinement ne pose aucun problème.

3.2 Environnement et hygiène publique

Le traitement des eaux usées est plus qu'une question d'hygiène publique; il faut aussi protéger la flore et la faune du milieu où sont déversés les effluents et voir à éviter les désagréments esthétiques. Les eaux usées sont déversées dans des cours d'eau où elles sont diluées; l'épuration se poursuit grâce à des processus naturels (auto-épuration) et l'eau finit par redevenir utilisable.

Dans cette partie, la qualité des effluents de lagunage et leur destination sont étudiées du point de vue de la protection de l'environnement, avec une attention spéciale aux aspects du lagunage qui ont trait à l'hygiène publique. Le principal souci à l'origine des études sur la DBO, les teneurs en matières en suspension et les autres facteurs environnementaux, est la prévention des maladies et la préservation des qualités esthétiques des lieux; il s'agit de savoir:

- comment évaluer le degré d'épuration de l'eau traitée en se basant sur la nature et l'abondance des organismes pathogènes qu'elle peut contenir;
- comment éliminer les germes pathogènes devenus résistants aux antibiotiques qui, dès lors, survivent en plus grand nombre aux traitements;
- comment les empêcher de contaminer les aérosols et les produits alimentaires, en particulier les moules.

Nous nous intéressons non seulement à l'eau de consommation (eau de boisson et eau utilisée dans la préparation des produits alimentaires), mais aussi aux eaux qui servent à des fins de loisirs.

Lorsqu'on se soucie de la protection de la santé, on pense aussi à la sécurité des gens qui habitent, travaillent ou s'adonnent à des loisirs à proximité d'une installation de lagunage. Ainsi, le territoire qui sert au traitement des eaux ou à l'élimination des déchets devrait toujours être clôturé et délimité par des écriteaux d'avertissement.

Dans les régions nordiques en particulier, la capacité d'assimilation (ou pouvoir auto-épurant) des cours d'eau où l'on déverse les effluents est généralement plus que suffisante. Il faut donc surtout se soucier de l'hygiène publique ainsi que de la protection des zones riveraines et des eaux utilisées à des fins récréatives.

3.2.1 Effets des effluents de lagunage sur l'environnement. - La destination des effluents dépend des possibilités propres à l'emplacement.

En été, le milieu récepteur, qu'il s'agisse d'un lac ou d'un cours d'eau, a généralement un pouvoir auto-épurant assez élevé. Les organismes indicateurs vivent relativement peu de temps à cause de l'intensité des rayons solaires. Habituellement, comme la réaération du système est assez rapide, le milieu récepteur peut assimiler des quantités modérées de matières organiques.

En hiver, le volume assimilable par le milieu récepteur baisse, parce que:

- son pouvoir auto-épurant baisse considérablement;
- les organismes indicateurs vivent très longtemps dans les lagunes comme dans le milieu récepteur;
- la réaération est stoppée;
- la consommation métabolique d'oxygène par les organismes microbiens peut poser des problèmes dans les petits cours d'eau.

Alimentation d'une nappe souterraine. - La teneur en nitrates des eaux usées est élevée, du moins en été. Pour que les nitrates n'atteignent pas les eaux souterraines, il faut que les eaux usées soient dénitrifiées en passant par une zone anaérobie.

Déversement en terrain marécageux. - Le déversement des eaux usées en terrain marécageux peut être une solution acceptable. On a eu recours à cette méthode dans plusieurs installations des Territoires du Nord-Ouest et de localités situées ailleurs au Canada. Cette question est reprise en détails dans la partie 3.4.2

Épandage par aspersion. - À cause de leur capacité naturelle d'emmagasinement, les installations de lagunage se prêtent bien à l'épandage des effluents par aspersion s'il y a des champs ou des bois à proximité.

3.2.2 Hygiène publique. - Il ne faut pas oublier que la fonction première de l'épuration des eaux est la protection de la santé. Nous devons donc nous soucier avant tout des aspects de l'épuration des eaux qui ont trait à l'hygiène publique, plus particulièrement dans le cas des installations de lagunage en régions nordiques.

Il nous reste beaucoup à apprendre sur l'écomicrobiologie en régions froides et les effets de l'activité microbienne chez l'homme. L'emploi des coliformes fécaux comme indicateurs de la qualité sanitaire d'une eau est inadéquat, l'absence de bactéries coliformes ne constituant pas une preuve définitive que l'eau est exempte de micro-organismes intestinaux pathogènes. La situation risque d'empirer dans les dix prochaines années si les gens continuent d'utiliser l'eau sans égard pour l'hygiène publique.

Bactéries et virus: le plus grand problème dans les Territoires du Nord-Ouest. - La protection de la santé est la première raison d'être d'une installation d'épuration. Lorsqu'on parle de lagunage, il faut donc avant tout considérer les aspects du traitement qui ont trait à l'hygiène publique. Au nord du 60^{e} parallèle, on se soucie plus de la contamination bactérienne et virale que de la DBO et de la teneur en matières en suspension et en substances nutritives. Certains virus, par exemple celui de la poliomyélite, vivent trois fois plus longtemps que *E. coli* ou les streptocoques. On trouve couramment des virus dans les effluents de lagunage.

Beaucoup de cours d'eau ont une bonne capacité d'assimilation. En général, comme le temps est très froid, la teneur en oxygène sous les exutoires ne baisse jamais de façon importante.

Au dégel printanier, période où la plupart des bassins de lagunage sont vidangés, les eaux sont trop troubles et contiennent trop de glace pour servir d'eau de boisson.

Dans les installations à vidange continue comme celles de Fort Smith, la qualité bactériologique des effluents importe plus que leur qualité chimique.

Facteur R. - Des analyses effectuées à Edmonton par l'Université de l'Alberta ont révélé qu'environ 24 p. 100 des coliformes fécaux présents dans les effluents de la station d'épuration de la ville sont des mutants portant un plasmide supplémentaire. Cette mutation confère aux bactéries la propriété de résister à certains antibiotiques (Facteur R).

Trois pour cent de ces mutants peuvent transmettre leur résistance à d'autres organismes. Ces dernières années, des bactéries porteuses du facteur R, notamment des *Shigella* et des *Salmonella*, ont été à de nombreuses reprises tenues responsables de flambées de maladies infectieuses.

Si l'on en juge d'après les données recueillies jusqu'ici à ce sujet, les coliformes fécaux résistants aux antibiotiques vivent plus longtemps que ceux qui ne possèdent pas cette propriété, quel que soit le genre d'installation de traitement considéré. En fait, ce phénomène est encore plus évident dans les installations de lagunage où le temps de séjour est prolongé que dans les installations conventionnelles. La population résistante n'a pas augmenté dans les eaux usées brutes. Les études visant l'élimination des organismes pathogènes dans les installations de lagunage doivent également permettre de combattre les organismes résistants.

Bon nombre des coliformes fécaux résistent à de nombreux antibiotiques et à plusieurs désinfectants d'usage courant, notamment le chlore et les rayons ultra-violets.

Moules. - Des bactéries, dont des coliformes et d'autres organismes pathogènes, s'accumulent dans les tissus des moules et de certains autres mollusques ainsi que chez des crustacés tels que le crabe; la population bactérienne dans les tissus peut être quarante fois plus élevée que dans l'eau. Lorsque, pour des raisons d'ordre topographique, les effluents sont déversés près d'une plage où l'on pêche ou apprête des produits de la mer (moules, baleines, phoques et poissons), les populations bactériennes au point de rejet et parfois, en amont de ce point également, ne doivent pas dépasser le niveau jugé acceptable pour les eaux de boisson.

Aérosols. - Les bactéries et divers autres organismes peuvent être disséminés par les aérosols. On pense maintenant que *Legionella*, un germe pathogène, se propage par des aérosols tels que ceux produits par une pomme de douche. Il y aurait lieu d'étudier la propagation de ce micro-organisme dans les installations de traitement aéré, et de considérer la question dans toute recherche sur le lagunage aéré. Les préposés peuvent fort bien ne pas être contaminés par *Legionella* mais la maladie peut être transmise à leur famille ou aux habitants des environs simplement par l'action du vent.

- Les aérosols des procédés des boues activées à forte charge sont probablement plus dangereux que ceux des installations de lagunage. L'étude du phénomène des aérosols doit porter avant tout sur les installations d'épuration où le traitement des eaux est réalisé par le procédé des boues activées ou une forme quelconque d'aération intensive. (Les études réalisées dans des installations d'épuration aux États-Unis

montrent que les aérosols ne sont pas ou, à la rigueur, que très peu nocifs pour les préposés ou les personnes qui habitent près des installations.)

- À Edmonton, on a analysé les aérosols près des installations d'épuration; on a retrouvé des organismes indicateurs partout dans la vallée.
- Dans une étude récemment réalisée dans les installations de lagunage de Roblin (Manitoba), on a analysé les aérosols qui se forment aux alentours du dispositif d'épandage des effluents par aspersion.

3.2.3 Sacs hygiéniques. - Depuis cinq ans, un nombre de plus en plus grand d'habitations des régions nordiques ont été dotées d'installations sanitaires. Cette mesure faisait partie des moyens mis en oeuvre pour améliorer la salubrité des habitations dans certaines des agglomérations où le sac hygiénique était très employé pour recueillir les excréments. Lorsque toutes les habitations posséderont des installations sanitaires, le pompage des eaux usées et l'approvisionnement en eau par camion-citerne constitueront le niveau minimal de service.

Le sac hygiénique est d'un emploi si répandu qu'on ne pense pas arriver à l'éliminer avant 30 ou 40 ans. De nombreuses alternatives ont pourtant été évaluées. Les usagers se montrent souvent réfractaires au changement. En attendant, on devrait tout au moins remplacer les sacs hygiéniques fabriqués en matières plastiques par des sacs faits de matériaux biodégradables. Ceux-ci pourraient être jetés dans les installations de lagunage. Mais d'ici-là, il faudrait trouver un moyen pratique d'éliminer le contenu des sacs hygiéniques actuels dans les installations de lagunage.

3.2.4 Validité des méthodes standard employées dans l'analyse des matières en suspension. - Les organismes de réglementation ne font aucune distinction quant à la nature des matières en suspension dans les effluents de lagunage et leurs effets sur l'environnement. Il y a une différence entre l'algue unicellulaire, qui peut assimiler des substances nutritives, et les particules de matière brute. La composition des matières en suspension dans les effluents de lagunage varie selon la saison, essentiellement suivant les fluctuations des teneurs en algues unicellulaires.

Il n'est peut-être pas justifié non plus de viser une teneur uniforme en matières en suspension (entre 25 et 35 mg/l) quelles que soient les eaux réceptrices. On ne peut présumer qu'une teneur donnée est aussi acceptable à l'embouchure d'une rivière qu'en n'importe quel point de son cours.

D'après Ross Bulley, "selon que l'on déverse des effluents dans le fleuve Fraser à 100 m en amont de l'embouchure ou dans la partie du fleuve qui coule dans le centre-nord

de l'Alberta, les exigences des eaux réceptrices sont très différentes; pourtant, il semble que dans les deux cas on exige la même teneur en matières en suspension, soit habituellement entre 25 et 35 mg/l".

Il faut aussi tenir compte des populations d'algues unicellulaires dans la mesure de la DBO. Par exemple, lorsqu'on remplit une bouteille de verre d'effluents de lagunage contenant des algues unicellulaires et qu'on expose le tout à la lumière, la DBO est négative. Par contre, si la bouteille est gardée à l'obscurité, l'analyse met en évidence non seulement la dégradation organique qu'on devait mesurer, mais aussi la respiration des algues. La filtration de la DBO est un moyen auquel on a souvent recours pour éviter ce problème, mais si l'on enlève d'autres matières en suspension en plus des algues, les résultats de l'analyse se trouvent également faussés; ce problème reste à résoudre.

Même lorsqu'on parle de la DBO des eaux brutes, on considère rarement le rapport entre la DBO des matières solubles et la DBO totale. "Les inconnues sont nombreuses."

Dosage des matières dissoutes totales plutôt que mesure de la DBO. - Cette méthode comporte plusieurs avantages:

- plus grande rapidité;
- aucun des problèmes posés par la mesure de la DBO à faibles teneurs;
- corrélation avec la DBO;
- résultats reproductibles.

Par contre, la mesure de la DBO est actuellement l'analyse qui nous permet d'évaluer le mieux la capacité de biodégradation des matières présentes dans l'eau.

Ni l'une ni l'autre de ces méthodes ne nous donne un paramètre valable pour évaluer le rendement d'une installation d'épuration.

Selon B. Jank, "ce n'est qu'après avoir rassemblé des groupes de données tirées de la grande masse de renseignements qu'on a recueillis sur la question, qu'on est le mieux en mesure de décider quel paramètre surveiller. Étant donné le grand nombre de contrôles automatisés qui s'effectuent dans les installations de traitement mécanique, il est impossible d'employer la DBO comme paramètre, car le délai serait trop long".

Utilité des coliformes fécaux comme organismes indicateurs. - Nous devons vérifier si la nature et l'abondance des coliformes fécaux sont indicatives de la nature et de l'abondance des organismes pathogènes. Il se peut que les genres et espèces d'organismes fécaux ne soient pas nécessairement les mêmes qu'il y a 30 ans et que les normes développées alors ne soient plus acceptables. Nous devons déterminer si l'analyse des

coliformes fécaux est valable pour les organismes qui se développent dans les bassins de lagunage.

Il y a d'autres points à régler, comme le problème des protozoaires parasites, par exemple *Giardia lamblia*, qui sont en voie de devenir endémiques en Amérique du Nord. L'analyse des coliformes fécaux ne nous apporte pas plus de renseignements sur ces organismes que sur les virus. Nous savons qu'un nombre relativement peu élevé de virus ou de protozoaires enkystés, qu'il s'agisse de *Giardia lamblia* ou d'*Entamoeba histolytica*, peut suffire pour causer une infection, surtout chez une personne en mauvaise santé.

Évaluation de la toxicité des effluents. - Il ne faut pas oublier de considérer la toxicité des effluents pour les poissons, les animaux sauvages et domestiques et l'homme. Il nous faudrait donc aussi des épreuves biologiques adéquates pour l'évaluer. Dans la partie 3.4.1, on parle des problèmes de toxicité dus à la présence d'ammoniaque et de sulfure d'hydrogène dans les effluents.

La toxicité pose un problème de taille à Whitehorse (Yukon): il faut respecter les normes stipulées dans la *Loi sur les pêcheries*, c'est-à-dire que les effluents ne doivent pas être toxiques. Pourtant, c'est le cas de ceux de deux bassins de lagunage anaérobie.

3.3 Exploitation et contrôle du traitement

Les opérateurs sont loin d'être unamines quant à la façon d'exploiter et d'entretenir une installation de lagunage, même lorsque les installations sont régies par le même organisme de réglementation. Certains opérateurs ne se rendent sur les lieux que trois fois par année au plus, si bien que les frais d'exploitation sont très bas; d'autres, par contre, estiment qu'ils doivent contrôler les opérations deux fois par jour.

L'objectif du lagunage est avant tout de produire un effluent de bonne qualité, tant pour la protection de l'environnement que pour l'hygiène publique. Deuxièmement, il s'agit de constituer une base de données qui pourra servir plus tard s'il faut agrandir les installations ou modifier les méthodes de conception. (Si l'on avait fait les contrôles appropriés dans les installations de lagunage par le passé, nous aurions maintenant presque tous les renseignements dont nous avons besoin.) Troisièmement, il faut prévenir les défaillances mécaniques et de construction. C'est là l'un des plus grands problèmes que pose le lagunage. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel que l'opérateur soit bien formé, qu'il possède toutes les connaissances nécessaires pour remplir ses fonctions et qu'il soit consciencieux.

3.3.1 Efficacité et contrôle du lagunage. - En Ontario, les premières installations de lagunage ont été aménagées dans les années cinquante. Au début, la vidange était continue dans la plupart des cas, l'aménagement ayant été conçu en fonction d'un temps de séjour de 120 jours. Lorsqu'on s'est aperçu que les eaux réceptrices n'étaient pas de la qualité voulue à cause du manque de dilution en été, on a décidé dans bon nombre de cas de faire des vidanges saisonnières, au printemps et en automne, et d'emmagasiner les eaux usées en été et en hiver. Dans d'autres installations, les eaux sont vidangées tout l'hiver et dans d'autres encore, la vidange ne se fait qu'au printemps tout dépendant du volume de l'ouvrage. Ce mode d'exploitation est répandu au Canada.

Prenons l'exemple du Manitoba. Selon Mike Van Den Bosch, "comme les cours d'eau sont à sec ou gelés la plus grande partie de l'année, il faut emmagasiner les effluents, les traiter et les évacuer durant la période de l'année la plus propice".

Lorsque les effluents d'une grande installation sont vidangés dans un cours d'eau à régime intermittent, il peut se poser un problème de coordination: il s'agit de savoir quand commencer la vidange et quand l'arrêter. C'est le cas en particulier lorsque les caractéristiques hydrauliques de l'installation ne permettent pas de régler l'écoulement au débit voulu, c'est-à-dire, lorsque la charge statique ne suffit pas à compenser les pertes dues à la friction. À l'atelier, on a donné comme exemple un bassin de lagunage d'une capacité de rétention de 16 h dont la vidange a duré environ un mois parce que la canalisation d'évacuation était trop petite pour la charge statique.

Il faut trouver le moyen de mesurer le débit d'alimentation en eaux brutes. Dans un grand nombre d'installations, le débit est mesuré à la station de pompage des eaux brutes. Il faut aussi étalonner tous les mois le débitmètre employé à cette fin. Les opérateurs des installations à vidange continue devraient aussi faire analyser chaque mois les eaux brutes et les effluents par des spécialistes qualifiés. Dans le cas des installations à vidange saisonnière, l'échantillonnage devrait commencer environ un mois avant la vidange.

La qualité des effluents augmente avec la pénétration de la lumière. L'opérateur peut aussi évaluer le rendement du traitement d'après l'abondance et la diversité des organismes et des plantes qui se développent dans l'eau, au fond du bassin et sur les côtés. Il nous reste encore beaucoup à apprendre sur l'importance de ces organismes pour juger du rendement du lagunage. Est-ce bon signe si les lentilles d'eau et les typhacées ne poussent que dans la partie des installations où s'écoulent les effluents? Existe-t-il d'autres plantes qui ne poussent qu'en milieu anaérobie ou facultatif? Il faut observer les variétés et espèces de plantes, d'algues, de daphnies et d'insectes.

Il faut évaluer l'accumulation de boues tous les trois mois pour recueillir des données qui permettront plus tard de juger de la nécessité d'un curage. Pour mesurer l'épaisseur de la couche de boues, on peut déterminer la profondeur par rapport à un repère situé hors du bassin, par exemple le dessus d'un bassin de trop-plein ou d'un ouvrage de béton. Après avoir déterminé la cote de l'ouvrage de béton et du fond du bassin, on abaisse une grande plaque fixée à une perche jusqu'à la couche de boues. On détermine ensuite la distance verticale par rapport à la surface de l'eau et au repère, puis on calcule quelle quantité de boues s'est accumulée.

On peut aussi mesurer l'épaisseur de la couche de boues par sondage acoustique; la sonde électronique manuelle donne de bons résultats (à 0,3 m près).

3.3.2 Conservation des données. - Toutes les activités réalisées dans l'installation devraient être consignées. L'opérateur ne peut espérer se souvenir des détails au bout d'un mois, encore moins après 4 ou 5 ans. Il faut noter:

- l'époque de la fonte des glaces;
- la teneur des eaux en oxygène dissous sous la glace;
- les émanations d'odeurs;
- l'épaisseur des boues et leur emplacement.

Il faut aussi recueillir beaucoup plus de renseignements sur le contenu et l'état des bassins. Avec de telles données, on peut, par exemple, déterminer s'il y a une corrélation entre l'épaisseur de la couche de boues et l'émanation d'odeurs nauséabondes au dégel.

Dans certaines installations de lagunage, les émanations d'odeurs commencent seulement lorsque l'eau s'est rechauffée et lorsque l'activité biologique a augmenté dans les boues, soit probablement 4 ou 6 semaines après le dégel des eaux. Si l'on ne recueille pas régulièrement des données sur ce phénomène, par exemple deux ou trois fois par semaine, on ne peut pas vraiment tirer de conclusions.

Autres facteurs à observer:

- répartition de l'écoulement dans les installations à bassins multiples;
- niveau du liquide;
- couleur du contenu des bassins;
- odeurs;
- couverture de glace;
- état des installations;
- enlèvement des batardeaux des bassins de régularisation;

- ouverture incorrecte des robinets de réglage;
- vandalisme;
- condition des écriteaux d'avertissement.

3.3.3 Entretien. - L'entretien des installations comporte diverses opérations qu'il faut faire régulièrement ou au besoin:

- dégagement de la route d'accès;
- dégagement des voies d'accès aux bassins de distribution et aux robinets de réglage;
- inspection mensuelle des berges - végétation et érosion;
- coupe mensuelle du gazon;
- vérification mensuelle des robinets;
- enlèvement de la neige et de la glace, en particulier près des bouches des exutoires;
- réparation des clôtures extérieures;
- élimination des animaux et des insectes.

Dans les installations aménagées sur du pergélisol, il faut aussi vérifier si les bermes remplissent leurs fonctions et voir s'il se forme de la glace sur les pentes d'aval par suite d'une fuite ou d'une infiltration, sinon les canalisations pourraient affleurer à cause des conditions thermiques. En plus de faire ces inspections, il pourrait être indiqué d'installer dans le sol des thermistors et des détecteurs de mouvement pour évaluer plus précisément la sécurité et l'état des installations.

On ne s'est jamais vraiment arrêté à la question de l'enlèvement et de l'élimination des boues de lagunage. Dans les installations à bassins multiples, on peut vider un bassin pour que les boues gèlent durant l'hiver et les laisser sécher l'été suivant. Le résidu relativement inoffensif est éliminé dans une décharge contrôlée ou on l'emploie comme engrais après tamisage grossier.

Dans certaines provinces, la valorisation agricole des boues est maintenant régie par des normes ou des directives.

3.3.4 Formation des opérateurs. - Nous investissons beaucoup d'argent dans l'aménagement des installations de lagunage. Si nous ne les entretenons pas, c'est de l'argent gaspillé. De ce point de vue, la formation de l'opérateur revêt beaucoup d'importance.

Très souvent, l'opérateur n'a pas reçu la formation nécessaire pour exploiter et entretenir correctement l'installation. Les opérateurs qui possèdent de bonnes connaissances sur le lagunage comprennent beaucoup mieux le processus à surveiller, si bien que le rendement est meilleur. Même un atelier d'un jour sur le lagunage les aiderait à se familiariser avec leurs fonctions. Les opérateurs compétents qui savent ce qu'ils font

peuvent obtenir des effluents d'une qualité passablement bonne dans une installation mal conçue. Même lorsque l'installation est très bien conçue, l'opérateur doit posséder une certaine formation pour en assurer l'entretien et produire des effluents de bonne qualité.

La formation encourage l'opérateur à se renseigner davantage sur les techniques d'exploitation et d'entretien des installations de lagunage. (Voir à ce sujet l'Annexe D-5.)

Dans le programme de formation, il faut souligner à quel point il est important de contrôler le traitement et de consigner soigneusement les observations. Il est difficile de convaincre les opérateurs de l'importance que revêt ce dernier point; ils se montrent très peu intéressés à tenir un journal des opérations.

L'apprentissage est facilité par des séances de formation qui réunissent plusieurs opérateurs: tous peuvent tirer profit de rencontres où sont mis en commun problèmes et solutions. Il existe du matériel didactique de qualité pour les différents niveaux de formation sur les techniques d'exploitation et d'entretien; on peut s'en inspirer dans la préparation des séances de formation.

Dans le nord du Québec, les populations sont très unies et les activités communes sont nombreuses. Ainsi, dans une municipalité centrale, la Commission scolaire catholique a mis sur pied un centre de formation technique spécialisé qui dessert aussi les treize autres municipalités de la région. Ces cours attirent des gens de diverses municipalités, issus de milieux différents, qui fraternisent durant leur formation; les opérateurs d'une même région sont regroupés, ce qui les motive et les encourage à faire leur travail plus consciencieusement. Pour certains, ces considérations peuvent être une perte de temps; cependant, les programmes de formation organisés pour des Inuit et des non-Inuit ont permis de constater que les stagiaires qui se sentent isolés dans leur travail ne profitent pas des cours. Cette observation est tout particulièrement vraie pour les opérateurs des installations d'épuration.

Les autochtones devraient être formés dans leur langue maternelle. L'enseignant peut d'abord donner le cours au traducteur pour que celui-ci ait le temps de trouver les termes techniques ou inusités. Le matériel pédagogique devrait aussi être produit dans la langue maternelle des élèves.

Le centre de formation devrait se trouver à proximité d'où habitent les élèves. Il est toujours difficile de s'absenter de chez soi pendant une longue période. Si les stagiaires, surtout s'il s'agit d'autochtones, sont en plus distraits par la nouveauté des lieux, ils perdront vite intérêt et voudront rentrer chez eux. Le lieu où la formation est dispensée est donc un élément très important pour le succès du programme.

Le cours qu'on donne au Québec est plutôt long: 360 heures, à raison de 9 semaines de 40 heures. C'est une formation assez poussée mais nécessaire.

Les opérateurs qui ont suivi ce cours de longue durée sont mieux formés. Ils sont plus autonomes, mieux à même de reconnaître les vrais problèmes qui se posent dans les installations où ils travaillent et mieux préparés pour les résoudre. Sur les 360 heures du programme, 225 sont consacrées aux fonctions de l'opérateur, à la lecture de plans et devis, à l'enseignement des mathématiques, des sciences générales, du système métrique, des notions élémentaires d'électricité, des propriétés des eaux usées domestiques, des réseaux d'égouts et des stations de pompage d'eaux usées. Ce sont ces notions de base essentielles qui constituent la partie la plus importante de la formation, non les techniques de lagunage comme telles.

Il faut uniformiser les programmes de formation dispensés au Canada, ou au moins dans une même province ou un même territoire; l'organisation de la formation ne devrait pas être laissée entre les mains de chacune des municipalités. Ainsi, on pourrait vraiment être en mesure d'assurer une exploitation efficace et la production d'effluents de bonne qualité partout dans le pays, ce qui est le principal objectif à atteindre.

Le programme de formation pourrait être donné en plusieurs parties. Lorsque la chose est possible, on pourrait faire coïncider la première partie avec l'aménagement d'une installation de lagunage. En fonctionnant de cette façon, les stagiaires pourraient retourner à leurs occupations entre les périodes d'enseignement en classe et sur le chantier. Il est très important de commencer la formation des opérateurs en même temps que les travaux d'aménagement, car les élèves ont ainsi la chance de se familiariser avec l'installation qu'ils devront exploiter.

Dans les localités nordiques, ce sont les conducteurs des camions d'approvisionnement en eau et de l'enlèvement des eaux usées qui devraient être formés. Les personnes envoyées en formation devraient être choisies de préférence parmi les employés à l'emploi de la municipalité depuis assez longtemps et qui connaissent les eaux usées.

3.4 Amélioration de l'efficacité des installations actuelles

Essentiellement, on peut améliorer les installations de lagunage pour en augmenter la capacité et les rendre conformes aux normes, maintenant plus rigoureuses, qui régissent divers autres paramètres. En Ontario, par exemple, la réglementation du lagunage porte sur les points suivants:

- élimination des substances nutritives pour prévenir l'eutrophisation;
- réduction de la DBO des effluents ou des eaux réceptrices;
- réduction de la toxicité;

- élimination des bactéries;
- élimination des odeurs.

3.4.1 Aperçu des résultats obtenus en Ontario

Élimination des substances nutritives. - L'élimination du phosphore a été l'un des premiers aspects qu'on a cherché à améliorer. La politique de déphosphoration, entrée en vigueur en 1970, concerne les Grands Lacs d'aval, le secteur de villégiature de Muskoka/Haliburton et la région d'Ottawa-Carleton. Elle s'applique à toutes les installations d'épuration par traitement mécanique ou par lagunage. On a mis sur pied un imposant programme comprenant des essais de floculation, des études sur les propriétés des eaux brutes et des démonstrations en conditions réelles au cours desquelles on procède à l'ajout d'alun ou de chlorure ferrique.

Dans les installations de lagunage à vidange continue non alimentées en électricité, le produit chimique est dosé dans la conduite de refoulement d'un bassin de stockage du poste de pompage principal ou dans l'un des trous d'homme de l'égout gravitaire qui achemine les eaux jusqu'à l'installation. Si l'on emploie de l'alun, l'apport vise en général à obtenir une teneur d'environ 150 mg/l. L'apport est déterminé cas par cas au moyen d'essais de floculation plutôt que d'utiliser une approximation en fonction de la teneur en phosphore.

Dans les installations de lagunage à vidange saisonnière, on fait aussi des essais de floculation pour déterminer la quantité de produit nécessaire pour déphosphorer les eaux. En Ontario, on suit cette méthode depuis au moins 10 ans; la quantité de sulfate d'aluminium employée a maintenant baissé à environ 80 mg/l.

Dans les installations de lagunage à rétention saisonnière, on se sert d'un bateau sur lequel sont montés des réservoirs contenant le produit chimique employé pour la déphosphoration. Le produit est déversé dans la zone d'agitation de l'hélice. Le bateau parcourt tout le bassin et une fois que la quantité de produit nécessaire a été versée, un deuxième bateau passe pour que le produit se mélange davantage.

Dans les installations de lagunage à vidange continue, il est assez facile de maintenir la teneur en phosphore à 1 mg/l, comme l'exige la norme.

Les effluents des installations de lagunage à rétention saisonnière sont d'une excellente qualité, comme on peut le voir ci-après:

Paramètre	Plage (mg/l)
DBO	15 - 20
Matières en suspension (MeS)	5 - 10
Phosphore	< 1

La déphosphoration dans ce genre d'installations comporte deux contraintes:

- la couverture de glace doit avoir disparu;
- la vidange doit se faire en 10 ou 14 jours; si elle est plus rapide, la qualité des effluents peut laisser à désirer quant à la DBO et la teneur en matières en suspension, à cause de la turbulence.

Réduction de la demande en oxygène et des populations bactériennes. - L'installation de lagunage de New Hamburg (Ontario) comporte deux bassins de lagunage en milieu facultatif disposés en série; on avait des problèmes à cause de la pauvreté des eaux réceptrices en oxygène dissous, et leur teneur en ammoniaque et en sulfure d'hydrogène.

Essais de filtration. - On a installé un filtre rapide à sable à faible profondeur et on a fait un essai de filtration suivant deux modes différents sur une période de seize mois. Durant l'été, la filtration était intermittente; on a obtenu les résultats présentés au tableau 3. Le filtre s'est révélé vraiment efficace pour abaisser la DBO et la teneur en matières en suspension, en phosphore et en ammoniaque.

Durant l'hiver, on a immergé le filtre de novembre jusqu'en mars pour éviter que le lit filtrant ne gèle. Avec ce mode de filtration, la réduction de la DBO et de la teneur en matières en suspension était assez satisfaisante mais la teneur en phosphore est restée assez élevée; la teneur en ammoniaque n'a pas changé.

Modifications réalisées à l'échelle réelle. - En amont des deux bassins de lagunage, on a aménagé un bassin d'aération muni de dispositifs de déphosphoration chimique. En aval, on a installé quatre filtres à sable sur le passage des effluents. La filtration est intermittente et ne se fait que durant l'été, à raison de 600 l/m^2 . jour. Il faut ratisser régulièrement la surface des filtres pour maintenir le débit voulu. À ce régime, le niveau des eaux dans les bassins de traitement en milieu facultatif est suffisamment bas pour qu'on puisse retenir toutes les eaux à traiter durant l'hiver.

Tableau 3
Données recueillies dans des installations de lagunage améliorées de l'Ontario (mg/l)

Lieu	Source	DBO	Matières en suspension	P total	NH_3
Thornbury	Eaux brutes	332	137	3	-
	Effluents*	7,5	13	1	4
Sutton*	Eaux brutes	148	208	6	19
	Effluents secondaires	8	13	0,9	0,3
	Effluents de lagunage	6	11	0,4	0,6
New Hamburg	Eaux brutes	137	193	6,8	-
	Effluents	1	5	0,8	2

* Les échantillons ne contenaient pas de sulfure d'hydrogène en quantité mesurable.

La filtration sur lit de sable est également un moyen efficace de réduire les populations bactériennes des effluents de lagunage.

Réduction de la toxicité. - À Markdale (Ontario), le lagunage avec vidange continue causait des problèmes d'eutrophisation et de toxicité à cause d'un excès d'ammoniaque dans un ruisseau à truites. Le sol de cette région est à gros grains. Une pente abrupte mène de l'installation au cours d'eau récepteur. C'était l'endroit indiqué pour installer un bassin d'exfiltration rapide.

On a fait de l'exfiltration intermittente pendant dix-huit mois dans un bassin d'essai. Suite aux résultats obtenus, on a décidé d'aménager une installation d'exfiltration à grande échelle, composée de huit bassins. On a aussi ajouté un bassin d'aération en amont du bassin de lagunage. Enfin, on aménage présentement une installation de déphosphoration chimique en début de circuit.

Les bassins d'exfiltration sont alimentés à raison d'environ 1200 l/m^2 . jour et de quatre bassins une semaine et les quatre autres la suivante. Les eaux peuvent ainsi reposer une semaine. Ce régime d'alternance dure environ 240 jours. L'hiver, les eaux usées sont stockées dans le bassin de lagunage.

Résultats. - Mesures effectuées dans le sol:

- le phosphore, dont la teneur initiale est de 1 mg/l, se déplace sur environ 50 m dans le sol;
- l'ammoniaque est entièrement nitrifiée et dénitrifiée sur un intervalle d'environ 60 à 80 m.

L'écoulement est d'abord souterrain, puis les eaux remontent en surface et s'écoulent par une zone marécageuse avant de se jeter dans le cours d'eau.

L'installation est en service depuis 1981 et déjà, on peut voir une amélioration dans le cours d'eau récepteur.

À Sutton (Ontario), les eaux usées sont épurées dans une installation d'aération prolongée qui comporte un bassin à mélange intégral, creusé à même le sol, suivi d'un clarificateur mécanique et d'un bassin de lagunage à vidange saisonnière dans la partie aérée; on avait des problèmes à cause de la teneur des effluents en ammoniaque et en sulfure d'hydrogène.

Mesures correctives. - On a modifié le régime d'exploitation pour faire en sorte que les boues séjournent dans les installations 30 jours en été et 60 jours en hiver. Des agents de déphosphoration chimique sont ajoutés aux eaux versées dans le clarificateur. Toutes les boues activées à rejeter sont déversées dans la canalisation de vidange du clarificateur d'où elles sont acheminées vers le bassin de lagunage. Lorsqu'elles l'atteignent, les boues sont très âgées et donc en état avancé de décomposition. Tout l'hiver, d'importantes quantités de nitrates sont ajoutées dans le bassin pour que le milieu reste oxygéné.

Résultats. - Les modifications apportées au régime d'exploitation se sont traduits par:

- la nitrification complète en été et en hiver;
- une déphosphoration importante;
- l'élimination de l'azote par dénitrification;
- l'élimination du sulfure d'hydrogène;
- une accumulation de boues négligeable.

Élimination des odeurs dues au sulfure d'hydrogène. - À l'installation de lagunage de Thornbury (Ontario), les eaux usées contiennent une grande proportion de rejets provenant d'une usine de transformation de pommes; au printemps, lorsqu'on faisait la vidange, les émanations d'odeurs causaient un sérieux problème. L'installation se composait d'un bassin de pré-aération suivi de deux bassins de traitement secondaire placés en série.

Les techniciens du ministère de l'Environnement ont cherché le moyen d'éliminer l'odeur de sulfure d'hydrogène causée par la surcharge qu'entraîne la présence des rejets très concentrés (DBO due aux matières solubles) de l'usine de transformation de pommes.

Après un certain nombre d'essais dans des installations-pilotes, on a installé des aérateurs tubulaires fixes qui traversent les deux bassins secondaires. Ce dispositif d'aération a été conçu pour distribuer dans les effluents du bassin de pré-aération 2,2 kg d'oxygène par kg de matières consommatrices d'oxygène (DBO). Les aérateurs ne fonction-

nent qu'en hiver et l'aération est alors peu intense; il ne se forme pas de glace au-dessus des aérateurs et l'élimination du sulfure d'hydrogène est très efficace.

3.4.2 Traitement en marécage naturel. - Le traitement en marécage pourrait être un moyen efficace d'éliminer à peu de frais la DBO, les matières en suspension, les bactéries et les substances nutritives dans certaines installations des régions nordiques du Canada.

Saskatchewan. - Les réserves indiennes de la Saskatchewan sont un bon exemple. De façon générale, le lagunage est très répandu en Saskatchewan. On l'emploie dans environ 90 p. 100 des installations d'épuration de la province. Si l'on recourt beaucoup au lagunage en Saskatchewan, c'est parce que le terrain n'est pas rare, ne coûte pas cher et qu'il est plat, excepté dans les réserves indiennes où le terrain est souvent marécageux, tourbeux ou boueux et où le sol se compose de strates variées.

En 1984, le ministère des Affaires indiennes et du Nord du Canada a commandé à l'Université de Regina l'évaluation microbiologique de quatre installations d'épuration relevant de sa juridiction pour étayer sa position en faveur du traitement en marécage. (Regina Water Research Institute, Université de Regina, rapport nº 30).

Territoires du Nord-Ouest. - Récemment, la municipalité de Pine Point a aménagé des installations de traitement en marécage pour résoudre les problèmes que posait le lagunage. On a réorienté et nettoyé le bassin de lagunage. L'épuration des effluents qui en sortent se poursuit dans un marécage: ce traitement donne des résultats satisfaisants.

À Hay River, les eaux usées sont traitées dans des bassins anaérobies; les effluents sont ensuite déversés à raison de 2,5 kg/ha . jour dans un marécage de 48,6 ha bordé de bermes. Cette méthode permet d'obtenir des effluents de bonne qualité. Ils ne contiennent ni phénols ni sulfure d'hydrogène. En fait, il est impossible de les distinguer de l'eau d'un ruisseau situé hors du bassin d'irrigation.

Ontario. - En Ontario, on s'est intéressé au traitement en marécage artificiel. Après quatre ans d'expérimentation dans les marécages artificiels de Listowel, on a fait un aménagement à grande échelle aux installations de lagunage de Port Perry. On s'est heurté à quelques problèmes de conception et d'exploitation, essentiellement à cause de l'ammoniaque, des phénols et du sulfure d'hydrogène.

Dans le nord de l'Ontario, on a aménagé un marécage artificiel à la suite d'un bassin d'aération en milieu facultatif qui sert à l'élimination de la DBO et à la déphosphoration chimique; on pense obtenir des effluents dont la qualité finale sera équivalente à celle

d'eaux usées ayant subi un traitement secondaire et tertiaire, c'est-à-dire présentant les caractéristiques suivantes:

- DBO	10 mg/l
- matières en suspension	10 mg/l
- phosphore	de 0,2 à 0,3 mg/l
- ammoniaque	de 4 à 6 mg/l

Le traitement en marécage artificiel pourrait aussi présenter de l'intérêt dans le sud de l'Ontario, région où la vidange continue durant l'été est préférable.

Nord du Québec. - L'École polytechnique de Montréal a réalisé une étude de quatre ans à grande échelle à Fontage, près de la Baie James: on a étudié le traitement des eaux usées dans les tourbières marécageuses.

On s'est servi successivement de quatre tourbières marécageuses naturelles pour traiter des effluents de fosses septiques. L'élimination des matières en suspension et de la DBO était satisfaisante. En été, le phosphore était retenu mais il réapparaissait plus tard, surtout à l'époque de la fonte printanière car il avait été temporairement absorbé par les fibres de tourbe. L'ammoniaque passait par une série de processus de nitrification et de dénitrification.

On a formulé deux critères de conception en fonction de la quantité de liquide appliquée en surface et du volume de tourbe. À l'installation expérimentale, on a obtenu un effluent exempt de germes pathogènes après un passage à travers 1 km de tourbe.

Résumé. - Il faut recueillir suffisamment de données sur l'efficacité du traitement en marécage naturel pour assurer la formulation de critères de conception permettant aux divers organismes de réglementation concernés d'approuver cette utilisation.

Il faudrait aménager les marécages naturels de façon que les eaux extérieures ne puissent s'y déverser et que les eaux à traiter y soient retenues suffisamment longtemps.

Dans le manuel sur *L'épandage des eaux usées traitées et des boues d'épuration d'origine urbaine* (SPE 6-EP-84-1, mars 1984), on parle du traitement des eaux usées en marécage (Section 7.3.3).

3.4.3 Élimination des substances nutritives par la culture de la lentille d'eau. - À Duncan (C.-B.), les eaux usées sont traitées dans un bassin de lagunage aéré puis elles sont déversées dans un bassin d'affinage. Les effluents de ce bassin sont chlorés avant d'être déversés dans une rivière à saumons. L'été, le niveau de ce cours d'eau est assez bas. On a demandé à la municipalité d'abaisser la teneur des effluents en phosphore et en azote. On

pense pouvoir réduire la teneur en phosphore au niveau voulu par ajout d'alun. Le Dr Ross Bulley de l'Université de la Colombie-Britannique a été chargé de trouver d'autres moyens d'abaisser la teneur en azote et en phosphore. La culture de la lentille d'eau dans le bassin de traitement est l'une des solutions qu'on pourrait adopter.

Caractéristiques de la lentille d'eau

- superficie de la feuille	8 mm^2
- mode de reproduction	végétatif
- habitat	surface de l'eau
- racines	en suspension dans l'eau
- longueur	de 5 à 50 mm

Cette plante peut envahir un plan d'eau au point de former en surface un épais tapis qui se récolte sans difficulté. Elle assimile l'ammoniaque telle quelle.

Assimilation de phosphore et d'azote et productivité de la lentille d'eau. - D'après la documentation qui traite du sujet, la productivité de la lentille d'eau serait typiquement de 4,6 kg/ha . jour (à l'état sec).

Le produit contient 0,8 p. 100 de phosphore et 4,6 p. 100 d'azote. En laboratoire, on a constaté que l'assimilation d'azote et de phosphore varie en fonction de l'abondance de la plante dans les effluents qui servaient de milieu. Lorsque ces deux éléments sont en excès dans les effluents, l'assimilation peut être plus élevée: elle peut monter à 3 p. 100 dans le cas du phosphore, et à 8 p. 100 dans le cas de l'azote.

La productivité par une journée ensoleillée peut s'élever à 24,8 kg/ha . jour (à l'état sec). Pour obtenir un tel rendement, il faut récolter tous les 3 ou 4 jours.

Projet d'essai. - On a proposé d'aménager des installations d'essai à Duncan. Les récoltes seraient conservées sur place et pourraient servir dans des travaux ultérieurs sur les propriétés fourragères de la lentille d'eau.

Le projet de Duncan permettrait de recueillir des données sur l'élimination du phosphore et de l'azote, sur les conditions de récolte et sur les usages possibles de la lentille d'eau, en particulier ses propriétés fourragères. On étudierait aussi l'écosystème, notamment au point de vue de sa capacité de désinfection naturelle.

En réalité, on envisage ici la modification complète de l'écosystème du bassin de lagunage. Aux États-Unis, en plus de la culture de la lentille d'eau, les chercheurs se sont intéressés aux propriétés d'un nouveau produit appelé "biotoile": il s'agit d'un ensemble de bandes de plastique qui s'ancrent au fond du bassin et qui flottent à la verticale, près de la surface de l'eau, les bandes ondulant au gré des courants. Les bactéries et les protozoaires

peuvent se fixer à ce support au lieu de se déposer au fond du bassin. Tous les organismes brouteurs présents dans les eaux du bassin peuvent se nourrir des bactéries fixées. D'après les résultats préliminaires qu'on a obtenus avec la culture de plantes aquatiques combinée à l'emploi de "biotoile", l'élimination des phosphates se situe entre 0,5 et 1 mg/l et l'élimination de l'ammoniaque, entre 3 et 20 mg/l par jour de rétention.

3.4.4 Récolte de la biomasse. - Aux États-Unis, on étudie actuellement l'affinage des effluents au moyen de microtamis faits d'un tissu très fin, auparavant impossible à trouver, dont les mailles mesurent 5 microns. Depuis des années, on employait des microtamis à mailles de 20 microns pour enlever les algues des eaux de distribution. On a signalé que les nouveaux microtamis permettent d'obtenir un débit raisonnable et posent relativement peu de problèmes.

Cette innovation permet d'envisager un nouveau moyen de récolter la biomasse; on pourrait en effet filtrer les effluents à même le bassin pendant une période donnée. Ainsi, on récolterait la biomasse de façon continue. Comme on n'ajouterait aucun agent chimique, le produit récolté pourrait servir à l'alimentation des poissons ou des animaux d'élevage. Toutefois, les coûts d'immobilisation et les frais d'exploitation augmenteraient. Les frais de récolte pourraient être compensés par l'économie d'agents de déphosphoration et l'amélioration de divers autres aspects influant sur le rendement.

On possède peu de renseignements sur l'aquiculture dans les installations de lagunage en régions froides. On a parlé d'une étude réalisée sur la question au Missouri: on a élevé des poissons dans les premier, deuxième et troisième bassins d'une installation comptant six bassins doubles, les trois bassins inutilisés servant de témoins. On a constaté que par rapport à ceux des témoins, les effluents des bassins où l'on élevait des poissons étaient de meilleure qualité au bout de quelques années.

En 1984, on a essayé d'élever des dorés depuis l'éclosion jusqu'au stade de l'alevinage en automne, dans un bassin des installations de lagunage de Port Perry (Ontario). Suite à un accident, on a perdu la plupart des poissons; cependant, ceux qui ont survécu se sont développés très rapidement. Leur poids a doublé tous les jours jusqu'à ce que leur métabolisme s'équilibre. À la fin de la saison d'élevage, le poids moyen des alevins était d'environ 25 grammes.

D'après l'analyse de leur contenu stomacal, les poissons se nourrissaient d'organismes de taille appropriée pour leur stade de développement, c'est-à-dire de larves de chironomides et de daphnies.

Le ministère des Richesses naturelles a également étudié la question dans une installation de lagunage privée près de Parry Sound (Ontario). On a ensemencé les

deuxième, troisième et quatrième bassins avec des oeufs de doré; chacun des bassins mesurait environ 0,4 ha. On a réussi à produire 120 000 alevins qui ont été relâchés dans la baie Georgienne, nappe d'eau où le doré est rare. Ces alevins ne s'étaient pas aussi bien développés que les poissons survivants de Port Perry, car leur alimentation n'était pas adéquate. En effet, comme ils se nourrissaient presque exclusivement de daphnies, leur croissance a été ralentie.

À l'Université Laval, on étudie les possibilités qu'offre l'élevage d'invertébrés utiles; on s'intéresse aux méthodes de récolte et aux usages qu'on peut faire des effluents de lagunage et d'épuration mécanique.

Les eaux de lagunage sont biologiquement très riches; on peut les exploiter pour cultiver des plantes et élever des poissons tout en améliorant la qualité des effluents.

Points à éclaircir

1) L'intérêt économique de la culture des algues et des plantes aquatiques pour la production fourragère, l'élevage des poissons pour le repeuplement des cours d'eau, et autres utilisations possibles.

2) Il faut recueillir les données sur la conception et l'application de méthodes et d'équipements de récolte pratiques.

3.5 Théorie du lagunage

3.5.1 Limnologie du bassin de lagunage. - L'eutrophisation naturelle est le processus par lequel un milieu stable évolue lentement du stade oligotrophe, généralement peu productif, au stade eutrophe, caractérisé par une forte productivité mais où les espèces sont supplantées par des espèces moins intéressantes. Dans ce milieu très riche, la matière vivante réagit aux facteurs chimiques et physiques qui rendent les conditions propices au développement des organismes qui y sont adaptés.

Les eaux eutrophes peuvent devenir hypereutrophes, stade qui n'est plus naturel; les eaux de lagunage en sont un bon exemple. L'eau perd la stabilité relative que lui conférait sa neutralité et les phénomènes qui s'y produisent se déroulent très rapidement. Ceux qui ont passé beaucoup de temps dans une installation de lagunage savent qu'un jour les eaux d'un bassin peuvent être vert vif parce qu'elles sont envahies par des algues et qu'une semaine plus tard, elles peuvent être limpides et regorger de daphnies. La semaine

suivante peut-être, lorsque l'eau s'est éclaircie, des plantes aquatiques enracinées (lentille d'eau) apparaissent. Le milieu est en évolution constante. Ces changements rapides en illustrent la richesse et l'instabilité.

La rapidité des changements ainsi que les hausses et les baisses fulgurantes des populations sont en partie dues au fait que le bassin de lagunage n'est pas un milieu naturel. La pollution n'est pas propice au développement d'une chaîne trophique normale, avec tous ses maillons.

Certains facteurs environnementaux comme l'ensoleillement et les conditions saisonnières sont incontrôlables. En hiver, tout est ralenti mais il reste des microcosmes biologiques actifs.

Les organismes des milieux hypereutrophes sont adaptés aux conditions particulièrement difficiles dans lesquelles ils vivent, et la compétition étant limitée, ils peuvent proliférer.

On sait très peu de chose sur les facteurs qui gouvernent ce processus. Dans les travaux réalisés sur la question, on a eu recours au génie sanitaire pour déterminer la charge en fonction de la qualité prévue des effluents. Entre ces deux facteurs, il reste une zone grise où interviennent des réactions et des processus encore mal connus. Il semble qu'il nous faudra mieux comprendre la question avant de pouvoir parler de progrès significatif dans la conception des installations de traitement et l'amélioration de la qualité des effluents.

Le lagunage est maintenant si perfectionné qu'il est devenu le mode d'épuration le plus répandu au Canada. En Ontario, où les premières installations de lagunage ont été aménagées vers les années cinquante, cette technique a permis de régler en grande partie les problèmes que pose l'épuration des eaux dans les petites municipalités.

On a fait de grands progrès depuis quinze ans dans l'étude des processus et des réactions liés à l'apport de substances nutritives. Ainsi, on a beaucoup appris sur les moyens de supprimer certaines des conséquences fâcheuses de l'accélération de l'eutrophisation dans les Grands Lacs. Les principes appliqués dans ce cas valent également pour le lagunage.

La limnologie peut nous aider à comprendre des phénomènes qui restent obscurs. Bon nombre des paramètres de qualité qui régissent l'enrichissement des eaux en substances nutritives peuvent être mesurés à l'aide d'appareils automatiques. Nous pouvons mesurer la production et la productivité. Il faut faire la distinction entre la notion de biomasse sur pied, une mesure instantanée, et celle de la productivité, qui implique un processus permanent. Souvent, dans les bassins de lagunage, il est fréquent que la biomasse sur pied

n'est pas très importante alors que la productivité est prodigieuse, tout simplement parce qu'il y a un cycle où interviennent des organismes producteurs et des organismes assimilateurs.

La modélisation est aussi un aspect important de la question. En effet, le processus qui nous intéresse est très complexe et certains, comme le Dr Thirumurthi, ont consacré tout leur temps à les étudier. La modélisation nous permet d'organiser un ensemble de connaissances complexes de façon à pouvoir comprendre la logique des phénomènes mis en jeu.

Les recherches sur ces points obscurs peuvent sembler fastidieuses et inutiles, mais il n'en est pas nécessairement ainsi. Par comparaison à la complexité de la tâche que représente l'étude du lac Érié ou mêmes de lacs plus petits, le travail à faire n'est pas aussi énorme qu'il n'apparaît d'abord.

Il s'est accumulé une importante somme de données. Nous connaissons bien les propriétés des eaux usées brutes. Le milieu physique est simple: c'est un système aux dimensions fixes. En conditions normales, on peut dire précisément quelle sera la qualité des effluents d'une station d'épuration municipale. Le bassin de lagunage comme tel est un système fermé qu'aucune barrière physique ne divise.

Le milieu est contrôlable: il semble complexe parce que jusqu'ici nous n'avons pas pu, ou nous n'avons pas voulu, mesurer les changements rapides qui s'y opèrent. La solution réside dans l'emploi d'appareils automatiques d'échantillonnage et d'analyse rapide qui nous permettraient de savoir quels paramètres changent. Connaissant ceux-ci, nous pourrions peut-être découvrir quelles relations de cause à effet sont mises en jeu, ce qui nous permettrait de mieux contrôler l'épuration.

Si nous parvenons un jour à connaître parfaitement le déroulement de l'épuration dans une lagune, il nous sera alors possible de mettre au point des méthodes d'exploitation pratiques. Il faut chercher à équilibrer le processus à un niveau de production élevé, qui est préférable à des fluctuations de populations anarchiques. Si nous parvenons à maintenir l'équilibre, nous pourrons sans aucun doute produire des effluents d'une qualité aussi bonne sinon meilleure que celle obtenue avec les autres procédés actuellement connus.

Les effluents évacués des installations de traitement mécanique sont propices au développement des algues. Ceux des installations de lagunage ont passé ce stade, de même que le premier niveau de production secondaire, alors que la biomasse autotrophe est assimilée; en fait, ils ont atteint un stade correspondant à plusieurs étapes du processus de traitement naturel.

Quel que soit le mode de traitement, il faut chercher à produire quelque chose de valable en fin de compte. Quand nous pourrons faire de la pollution une ressource exploitable, nous aurons résolu en bonne partie nos problèmes. Le lagunage offre cette possibilité. Les organismes qui vivent dans les bassins de lagunage, daphnies, moucherons, etc., constituent un élément très important de l'alimentation de presque toutes les espèces de poissons. Si nous arrivons à exploiter cette productivité pour en tirer quelque chose d'utile, nous aurons atteint notre objectif.

Si nous connaissions la dynamique des populations et les processus qui se déroulent dans le bassin de lagunage, nous serions en mesure d'exploiter les matières utiles qu'on peut tirer de ce milieu autotrophe, qu'il s'agisse d'algues ou de daphnies. En théorie, nous pourrions recueillir pratiquement toutes les substances nutritives normalement rejetées avec les effluents, si bien que ceux-ci seraient d'une qualité très proche de celle du milieu récepteur. C'est dans cette voie qu'il nous faut avancer.

Question

En faisant de l'aquiculture, ne risque-t-on pas d'augmenter les frais d'exploitation à un point tel qu'un autre mode de traitement deviendrait meilleur marché?

Réponse

Il faut se garder de faire du lagunage un procédé si complexe qu'il en perdra tous ses avantages. À un certain point, il faudra que la valeur du produit compense une partie des frais d'exploitation supplémentaires.

3.5.2 Organismes des eaux usées. - On peut classifier les bactéries en fonction de la température minimum à laquelle elles peuvent vivre. Les bactéries mésophiles se multiplient entre 15 et 35 °C et les bactéries psychrophiles, entre 0 et 15 °C. Les bactéries qui se développent à 0 °C sont dites psychrotrophes. En hiver, les conditions sont propices au développement des bactéries psychrophiles et psychrotrophes dans la plupart des installations de lagunage. À Inuvik, on a constaté que durant l'hiver, environ 80 p. 100 de la population bactérienne des bassins de lagunage est psychrotrophe, tandis qu'en été, leur proportion n'est que de 1 p. 100. Les organismes psychrophiles et psychrotrophes abondent durant la saison froide; nous ignorons cependant quelle proportion de la DBO ils contribuent à éliminer; est-ce 5 p. 100 ou même 10 p. 100? Dans les

bassins de lagunage aéré, où le traitement se fait à environ 0 °C, les organismes psychrophiles décomposent les matières organiques des eaux usées de façon très efficace. On pense que les organismes psychrophiles sont plus efficaces que les organismes mésophiles à basse température parce que leur paroi cellulaire est plus mince, ce qui leur facilite l'assimilation des substances nutritives. On possède peu de renseignements sur les besoins nutritifs et les taux d'assimilation des bactéries psychrophiles. On peut présumer que leurs besoins en phosphore sont moindres que ceux des bactéries mésophiles car leur vitesse de réaction est moins rapide.

La qualité des effluents varie en fonction de la température. Lorsque la température baisse, la vitesse des réactions biochimiques diminue. La plupart des vitesses appliquées aux modèles de conception restent à déterminer pour les températures entre 0 et 10 °C. C'est entre ces limites que les organismes psychrotrophes supplantent les organismes mésophiles dans la flore bactérienne des bassins de lagunage, les vitesses de réaction changeant en conséquence.

Les effluents de toutes les installations de traitement contiennent quantité de virus, de bactéries et de protozoaires. Les protozoaires, et plus particulièrement ceux du genre *Giardia*, sont en voie de devenir endémiques partout en Amérique du Nord.

Différentes espèces prédominent à mesure que change la nature des eaux usées. L'efficacité d'un procédé d'épuration peut en fait se juger d'après l'évolution de la distribution des espèces. Les rotifères sont parmi les organismes prédominants en fin d'épuration, car ils se nourrissent de protozoaires ainsi que de bactéries et d'algues. Leur présence témoigne donc d'une bonne épuration.

3.5.3 Désinfection naturelle. - La désinfection naturelle qui s'accomplit dans le bassin de lagunage met en jeu tout un ensemble de processus.

Décantation. - Par ce processus fondamental, la population de micro-organismes est généralement réduite d'environ 20 ou 30 p. 100, peut-être même de 50 p. 100. Cette proportion est néanmoins négligeable lorsqu'on sait que la teneur en coliformes totaux est de l'ordre de 1×10^8/ml. La teneur en coliformes fécaux dans les eaux brutes de dilution normale est de 1×10^3/ml.

Rayons solaires. - Les rayons ultra-violets contribuent à la réduction de certaines populations microbiennes.

Adsorption. - Les organismes fixés sur d'autres organismes peuvent finir par se déposer au fond du bassin. Par exemple, des bactéries adsorbées sur des algues sont emportées au fond du bassin lorsque ces dernières s'y déposent.

Prédateurs. - Les bactéries sont la proie non seulement des protozoaires et des rotifères, mais aussi de certains virus qu'on appelle phages.

Carence en substances nutritives. - Lorsque le milieu est pauvre en substances nutritives, son alcalinité ou le CO_2 disponible peuvent être insuffisants.

Toxines. - Les eaux brutes ou les effluents de lagunage contiennent périodiquement des produits toxiques. L'ammoniaque et le sulfure d'hydrogène peuvent être toxiques dans certaines conditions. Les algues peuvent être toxiques pour certains organismes pathogènes, et peuvent empoisonner le milieu dans leur voisinage immédiat par libération soudaine d'une grande quantité d'oxygène.

3.5.4 Effets de la température. - En automne, une chute soudaine de la température détruit les algues, du moins près de la surface des eaux du bassin. Le cas échéant, les effluents peuvent être chargés d'une quantité prodigieuse de matières solides; il arrive aussi que les algues se déposent au fond du bassin où elles se décomposent selon un processus anaérobie.

Lorsque la baisse de température est graduelle, c'est-à-dire lorsque la température baisse d'environ 20 °C en une période de 3 à 6 mois, les micro-organismes s'acclimatent au froid. Ils ne sont alors pas exposés au choc thermique qui les détruirait normalement.

3.5.5 Effets de la glace. - Lorsque le bassin est recouvert de glace, la pénétration des rayons solaires est moindre, de sorte que la croissance des algues et la désinfection naturelle ralentissent. La glace limite les échanges gazeux d'O_2 et de CO_2 à la surface des eaux. L'épaisseur de glace qui couvre le bassin est d'environ 1 m au centre du pays, et atteint environ 2 ou 3 m dans les régions les plus au nord. S'il y a de la neige, la couche de glace sera moins épaisse (la neige est un bon isolant), mais la lumière ne pourra pénétrer les eaux du bassin. La glace réduit beaucoup l'activité des algues ou les détruit complètement.

Au premier gel. - Lorsque la glace commence à se former sur le bassin, on observe les phénomènes suivants:

- le milieu aérobie facultatif devient anaérobie en 1 ou 2 jours;
- l'élimination biologique des matières organiques est très ralentie ou cesse tout à fait;
- la désinfection qui s'accomplit normalement sous l'action des rayons solaires est très ralentie ou cesse tout à fait;
- la DBO ne diminue que d'environ 25 à 45 p. 100, principalement par décantation, tout dépendant de la proportion attribuable aux matières solides qui sont en voie de se déposer au fond du bassin.

Tout ce qu'on observe est une baisse limitée de la DBO, car les bactéries psychrophiles doivent d'abord se multiplier puis assimiler les matières que contiennent les eaux usées. Durant cette période, les eaux usées brutes se diluent donc dans les eaux du bassin qui sont de meilleure qualité.

Au milieu de l'hiver. - C'est à l'interface de la couche de glace et de l'eau que la température est la plus basse; les eaux les plus chaudes (2,5 à 3 °C) sont au fond du bassin. Certains processus anaérobies s'accomplissent, mais très lentement: l'élimination de la DBO des matières solubles est très réduite.

Au milieu de l'hiver, la capacité de dilution des eaux de lagunage est très faible, si bien que les effluents de lagunage exercent des contraintes sur le milieu récepteur.

La qualité des effluents de lagunage n'est pas supérieure à celle des effluents d'une installation de traitement primaire: la DBO est réduite d'environ 30 p. 100 et la teneur en matières en suspension est abaissée d'environ 60 p. 100.

Middlebrooks fait état de données recueillies dans une installation de lagunage du New Hampshire: on constate que le profil de la DBO et des matières en suspension, du mois d'octobre à celui de décembre de l'année suivante, est tel que décrit ci-dessus. La teneur en coliformes fécaux reste élevée toute l'année, sauf à la fin de l'été.

Au dégel printanier. - Au début du printemps, la glace se fragmente et avec le réchauffement des couches supérieures, se produit l'inversion des eaux du bassin de même que les phénomènes suivants:

- libération de gaz emprisonnés: H_2S, méthane, azote, etc.;
- reprise de la croisssance des algues parce que les rayons solaires peuvent atteindre la surface des eaux;
- accroissement de l'activité biologique; et
- aération naturelle.

La qualité des effluents s'améliore considérablement. Bon nombre des normes actuelles font que la vidange permanente est impossible dans les conditions que nous venons de décrire, du moins au plus fort de l'hiver. On interrompt donc la vidange de la lagune et on attend jusqu'au dégel que la qualité des eaux à vidanger se soit améliorée. Les gaz alors libérés sont formés par des processus anaérobies durant l'hiver. Le sulfure d'hydrogène est la principale cause des odeurs nauséabondes qui se dégagent des bassins de lagunage au printemps. Lorsque la charge organique ne dépasse pas l'équivalent d'une DBO de 22,4 kg/ha · jour, les problèmes d'odeurs au dégel printanier ne durent qu'une semaine ou deux dans les régions à climat plus tempéré du nord des États-Unis et du sud du

Canada. La charge organique n'est cependant pas le seul facteur déterminant; la nature des eaux traitées importe également. Une charge qui ne pose aucun problème dans le traitement des eaux usées domestiques, par exemple 22,4 kg/ha · jour, peut être trop élevée dans le cas de certains rejets industriels à composantes organiques et toxiques, en particulier ceux des installations de transformation de produits alimentaires.

Les odeurs sont essentiellement dues à la décomposition anaérobie. Les organismes anaérobies utilisent les sulfates comme accepteur d'électrons et les convertissent en sulfure d'hydrogène. Les odeurs peuvent aussi être dues aux acides organiques qui se forment durant la décomposition anaérobie, processus qui s'observe plus fréquemment en été.

Il y a deux façons d'éliminer les odeurs nauséabondes dans les installations de lagunage. Dans les installations d'épuration mécaniques, on ajoute du nitrate de potassium aux eaux à traiter. Les organismes anaérobies se servent alors du nitrate comme accepteur d'électrons, ce qui réduit la production de sulfure d'hydrogène, composé à l'origine des odeurs nauséabondes. Dans les installations de lagunage, l'ajout du nitrate de potassium se fait directement dans les bassins ou au poste de pompage principal. On peut aussi réduire les émanations de sulfure d'hydrogène en ajoutant de la chaux dans les bassins au dégel ou juste après. La chaux maintient le pH des eaux élevé et peut ainsi réagir avec le sulfure d'hydrogène pour former du sulfure de calcium.

3.5.6 Dépôts de fond. - Les dépôts de fond des bassins se composent d'un mélange de matières inorganiques et organiques. Durant certaines périodes de l'année, une partie du CO_2, de l'ammoniaque et de l'azote qu'ils contiennent peut être libérée dans l'air. Les matières organiques et les substances nutritives qui restent se diffusent graduellement dans la masse d'eau. Au printemps, ces substances se mélangent dans la colonne d'eau et peuvent être assimilées par les micro-organismes en croissance. À un certain point, il devient nécessaire d'enlever les dépôts de fond pour réduire la quantité de matières qui se diffusent dans la colonne d'eau.

3.5.7 Composés azotés

Nitrification et dénitrification. - La nitrification se produit en été, par temps chaud. Durant ce processus, il y a oxydation de l'ammoniaque et des nitrites en nitrates. Dans les régions à climat tempéré comme dans le sud de l'Ontario, il se peut même que la nitrification se poursuive en hiver, bien qu'à un rythme très lent, grâce à des sources naturelles d'oxygène sous la glace. Lorsque la nitrification n'est pas due à l'action de micro-organismes appropriés, la teneur des eaux en azote ne diminue pas. D'autres

micro-organismes abaissent la teneur en azote par dénitrification. Les bactéries dénitrifiantes tirent de l'oxygène des nitrates et des nitrites et produisent de l'azote gazeux. Ce gaz se dissout jusqu'à saturation dans l'eau et l'excès est libéré dans l'atmosphère ou s'accumule sous la couche de glace. En l'absence de dénitrification, l'azote ne peut disparaître qu'en étant retenu dans les cellules microbiennes ou en se déposant au fond du bassin.

Volatilisation de l'ammoniaque. - Lorsque l'activité est intense en surface ou que le pH augmente au-delà de dix dans les dix premiers millimètres de la surface du liquide, l'ammoniaque se volatilise. L'épuration atmosphérique concourt aussi à l'élimination de l'ammoniaque. Ce phénomène se produit lorsque le milieu est sursaturé en oxygène. En fait, certaines observations indiquent que c'est principalement par ce processus et non par nitrification et dénitrification que l'ammoniaque est éliminée des eaux de lagunage. En Ontario, les petits cours d'eau récepteurs présentent des signes de toxicité par excès d'ammoniaque, en particulier à la vidange printanière ou après l'évacuation des effluents des installations à rétention saisonnière. Toutes les analyses ont montré jusqu'ici que la teneur en nitrates des effluents est directement liée à la présence de nitrates d'origine industrielle dans les eaux à traiter.

3.5.8 Changements d'alcalinité. - La respiration aérobie, sans décomposition de nitrates, ne modifie en rien l'alcalinité des eaux de lagunage. Toutefois, s'il y a nitrification ou dénitrification, l'alcalinité change. Durant la nitrification, elle baisse parce que les ions hydrogène alors libérés neutralisent les ions hydroxyle. Durant la dénitrification, par contre, les ions hydrogène sont captés, de sorte que l'alcalinité augmente. Lorsque les eaux usées contiennent beaucoup de composés azotés, les bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes peuvent provoquer un changement du pH. Si le pH baisse, il se peut que le rendement baisse. Lorsque l'alcalinité est insuffisante, les ressources nutritives dont disposent les micro-organismes sont limitées à cause de l'appauvrissement en CO_2 qui s'ensuit.

3.5.9 Teneur en oxygène dissous (OD). - Dans les installations de lagunage du sud de l'Ontario, la teneur en OD reste relativement élevée lorsque les eaux gèlent et elle le demeure jusqu'en janvier ou même février. Elle ne devient nulle qu'en mars ou au début d'avril. Ces constatations sont basées sur de nombreuses mesures effectuées au moyen d'un oxymètre à membrane dans des installations de lagunage municipales et industrielles.

Le fait que la teneur en OD est élevée sous la couche de glace peut s'expliquer de deux façons:

1) L'oxygène se trouve dans les eaux à traiter.
2) À cause de la transparence de la glace, les rayons solaires atteignent les algues et déclenchent la photosynthèse chez celles-ci.

C'est la deuxième hypothèse qui présente le plus d'intérêt. Dans le sud de l'Ontario, les bassins de lagunage ne sont pas toujours recouverts de neige comme dans l'extrême Nord et il n'est pas rare que des algues s'y développent la plus grande partie de l'hiver. Dans les installations où la vidange est continue en hiver, la DBO est réduite dans une mesure très satisfaisante.

3.5.10 Bactéries psychrotrophes. - Les bactéries psychrotrophes, qui se développent à 0 °C, ont fait l'objet d'un certain nombre d'études. Il semble qu'elles soient plus efficaces à basse température parce que leur paroi cellulaire, beaucoup plus mince, laisse passer plus facilement certaines substances, si bien qu'elles peuvent assimiler les substances nutritives qui leur sont nécessaires beaucoup plus rapidement que les organismes mésophiles. On a cependant cru à tort qu'avec les organismes psychrotrophes, l'épuration pouvait être aussi rapide qu'avec les organismes mésophiles. En d'autres mots, on a pensé qu'à 10 °C le lagunage pourrait être aussi efficace qu'à 20 ou 25 °C. Or, il est peu probable que le taux de reproduction des organismes psychrotrophes puisse jamais dépasser celui des organismes mésophiles.

Les besoins nutritifs et les taux d'assimilation des bactéries psychrotrophes sont encore mal connus. On peut toutefois présumer que leur besoin en phosphore est moindre car chez elles, les réactions sont moins rapides que chez les bactéries mésophiles.

Travaux réalisés dans les installations de lagunage d'Inuvik (T.N.-O.) de juillet à novembre 1984. - Dans ces travaux financés par le ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada (D. Prasad de l'Université de Toronto), on s'est attaché à l'étude des aspects microbiologiques du lagunage; pour ce faire, on a déterminé la teneur en bactéries psychrotrophes dans le liquide et les sédiments à 1 °C.

On sait que les bactéries psychrotrophes représentent une part importante de la microflore des eaux usées traitées à basse température.

Description des lieux. - À l'origine, les installations de lagunage d'Inuvik (68°22' N et 133°43' O) ont été aménagées pour le traitement des eaux usées en une étape; en 1982, on y a apporté certaines améliorations pour pouvoir y traiter les eaux usées en deux étapes. Les installations comportent maintenant deux bassins de traitement primaire de 1,3 ha (hauteur moyenne du liquide: 1,3 m) aménagés en parallèle et un bassin de traitement secondaire de 20 ha (hauteur moyenne du liquide: 1,2 m). La capacité est de 2000 m^3

d'eaux usées par jour. L'installation dessert 3200 habitants (625 l/personne par jour). Les eaux usées sont recueillies par un réseau de canalisations aériennes sous coffrage, et sont acheminées par un collecteur gravitaire jusqu'aux bassins de traitement primaire (temps de séjour: 17 jours). Les matières décantables y sont retenues et stockées. Les effluents des bassins de traitement primaire sont ensuite envoyés dans le bassin de traitement secondaire où ils sont retenus environ 10 mois (de novembre à août). Au début de l'hiver (en septembre et en octobre), on vidange le bassin de traitement secondaire et les effluents sont déversés dans le bras est du fleuve Mackenzie. Au milieu de l'hiver, une couche de glace de 60 à 80 cm d'épaisseur recouvre les bassins de lagunage, sauf au voisinage de la canalisation d'entrée.

Prélèvement des échantillons et analyses. - On a prélevé des échantillons la première semaine d'août 1984 et au mois de novembre de la même année. On a choisi ces deux périodes de l'année pour avoir des échantillons représentatifs du lagunage en été (en l'absence de glace) et au début de l'hiver (lorsque les bassins sont couverts de glace).

On a fait des prélèvements à l'entrée des eaux brutes, au centre de chacun des bassins de traitement primaire, au premier et au second tiers du bassin de traitement secondaire et à la sortie des effluents. Pour l'échantillonnage de l'été, on s'est servi d'un échantillonneur pour prélever de l'eau dans les bassins de traitement primaire et secondaire à deux profondeurs (0,5 m et 1,0 m). On a prélevé des échantillons instantanés uniques à l'entrée et à la sortie. Pour l'échantillonnage de novembre, on a foré un trou de 20 cm de diamètre dans la glace. À chaque point d'échantillonnage, on ne prélevait qu'un échantillon d'eau à la profondeur médiane. On a aussi prélevé des échantillons de sédiments au moyen d'un échantillonneur Ekman. Au mois d'août, on a laissé l'échantillonneur de boues descendre jusqu'au fond du bassin. On a ainsi prélevé les sédiments des quelques premiers centimètres de la couche de dépôts de fond. À chaque échantillonnage, on notait la température des eaux de lagunage et leur teneur en oxygène dissous. La plupart des analyses chimiques et bactériologiques réalisées ont été faites en double, conformément aux méthodes standard de l'APHA (1981). On a déterminé le nombre de bactéries viables par la technique des dilutions avec étalement sur gélose nutritive (Difco). On a fait les numérations totales après 7 jours d'incubation à 20 °C et dénombré les bactéries psychrotrophes après 14 jours d'incubation à 1 °C.

Résultats. - On présente au tableau 4 certaines des caractéristiques des eaux usées et des eaux de lagunage.

Paramètres physiques et chimiques. - Au mois d'août, la différence de température entre les bassins de traitement primaire et secondaire n'était que de 1 °C. La température maximale mesurée au mois d'août était de 17,5 °C. En novembre, la température dans les trois bassins se situait entre 0 et 1 °C.

Dans les bassins de traitement primaire, la teneur en oxygène dissous était toujours basse et elle était inférieure à la valeur détectable par la méthode employée. À la fin de l'été toutefois, elle se situait entre 6,4 et 9,2 mg/l dans le bassin de traitement secondaire. Au mois de novembre, les eaux du bassin de traitement secondaire étaient recouvertes de glace et leur teneur en OD était nulle.

En été, le pH était plus élevé dans le bassin de traitement secondaire que dans les bassins de traitement primaire; les autres changements de pH observés étaient mineurs.

L'alcalinité totale moyenne, déterminée à l'état de $CaCO_3$, était d'environ 156 mg/l en été et 180 mg/l en hiver. Il n'y avait pas de différence significative entre les eaux des bassins de traitement primaire et celles du bassin de traitement secondaire.

Dans les échantillons prélevés en été, la teneur en matières solides totales (MST) variait de 300 à 370 mg/l et la teneur correspondante en matières solides volatiles se situait entre 122 et 188 mg/l. On donne au tableau 5 la moyenne de la teneur en matières solides déterminée pour chacun des bassins d'après les chiffres donnés au tableau 4.

Durant les deux périodes d'échantillonnage, la teneur en matières solides totales était supérieure dans le bassin de traitement secondaire. Au début de l'hiver, elle avait augmenté dans ce bassin seulement alors que la teneur en matières solides volatiles s'était élevée dans tous les bassins.

On donne au tableau 6 la valeur moyenne de la DBO et de la demande chimique en oxygène (DCO) avec le pourcentage d'élimination mesuré dans chaque cas.

Dans l'ensemble de l'installation, la réduction de la DBO a été de 90 p. 100 en été; elle avait baissé à 80 p. 100 en novembre. Si l'on présume que dans le bassin de traitement secondaire, la réduction n'est pas due à la décantation, on peut dire qu'à peu près la moitié de la réduction de la DBO et de la DCO, considérée dans son ensemble, s'est effectuée dans les bassins de traitement primaire durant ces deux périodes. Même au mois de novembre, alors qu'il fait froid, une quantité importante de matières organiques solubles se décompose.

Paramètres microbiologiques. - D'après les numérations totales, le nombre de bactéries dans les eaux usées brutes variait de $2{,}44 \times 10^6$/ml (novembre) à $10{,}24 \times 10^6$/ml (été). Dans les bassins de traitement primaire, les numérations totales et les dénombrements des

Tableau 4

Paramètres physiques et chimiques mesurés en divers points d'échantillonnage dans les installations de lagunage d'Inuvik

Point d'échantillonnage	Temp. de l'air (°C)	Hauteur d'eau (m)	Matières solides (mg/l)	MV (%)	Temp. de l'eau (°C)	OD (mg/l)	Plage du pH	Alcalinité totale (mg/l)
En été (31 juillet au 9 août)								
Eaux brutes	22 à 24	-	328	37	18,5 - 19	0	7,1 - 8,3	150
Bassin de traitement primaire 1	22 à 24	3	300	51	15 - 17,0	0	7,0 - 7,1	162
Bassin de traitement primaire 2	22 à 24	2,8	320	59	15 - 16,5	0	6,9 - 7,3	140
Bassin de traitement secondaire								
1er point d'échant.	22 à 24	2,6	330	52	16,5 - 17	6,4 - 8,9	7,5 - 7,9	162
2e point d'échant.	22 à 24	1,5	370	42	16,5 - 17,5	7,9 - 9,2	7,7 - 7,9	162
Effluent	-	-	370	33	17 - 17,5	8,75 - 9,2	7,6 - 7,7	163
Au début de l'hiver (23 au 28 novembre)								
Eaux brutes	- 20 à - 30	-	435	45	10	-	7,6 - 7,65	133
Bassin de traitement primaire 1	- 20 à - 30	3	270	74	0 à + 1	0	7,0 - 7,10	172
Bassin de traitement primaire 2	- 20 à - 30	2,8	340	70	0 à + 1	0	7,1 - 7,2	172
Bassin de traitement secondaire								
1er point d'échant.	- 20 à - 30	1,5	380	78	0 à + 1	0	7,2 - 7,3	194
2e point d'échant.	- 20 à - 30	1,5	420	82	0 à + 1	0	7,2 - 7,3	194
Effluent	- 20 à - 30	-	390	90	0 à + 1	-	,30 - 6,30	196

Tableau 5
Teneur moyenne en matières solides dans chacun des bassins
(installations de lagunage d'Inuvik)

Point d'échantillonnage	Matières solides totales (mg/l)	Matières solides volatiles (mg/l)	Matières solides volatiles (%)
Été			
Bassins de traitement primaire	310	170	55
Bassin de traitement secondaire*	357	147	42
Au début de l'hiver			
Bassins de traitement primaire	305	220	72
Bassin de traitement secondaire*	397	330	83

* Y compris les effluents.

Tableau 6
DBO et DCO moyennes (moyenne de 4 échantillons)
(installations de lagunage d'Inuvik)

Point d'échantillonnage	DBO (mg/l)	Élimination (%)	DCO (mg/l)	Élimination (%)
En été (31 juillet au 9 août)				
Eaux brutes	120		290	
Bassin de traitement primaire 1	60		160	
Bassin de traitement primaire 2	60	50	200	38
Bassin de traitement secondaire				
1er point d'échant.	12		75	
2e point d'échant.	10		70	
Effluent	11	90	68	76
Au début de l'hiver (23 au 28 novembre)				
Eaux brutes	138		290	
Bassin de traitement primaire 1	82		200	
Bassin de traitement primaire 2	84	40	220	28
Bassin de traitement secondaire				
1er point d'échant.	60		160	
2e point d'échant.	42		140	
Effluent	26	81	120	59

bactéries psychrotrophes ont donné des résultats très différents en été et au début de l'hiver; l'écart était moins marqué dans le bassin de traitement secondaire. En été, la population bactérienne totale dans les bassins de traitement primaire était élevée (102×10^6/ml); c'est celle qui avait baissé le plus (plus de deux ordres de grandeur) au début de l'hiver. Dans le bassin de traitement secondaire par contre, il n'y a pas eu de baisse; le nombre total moyen de bactéries était de $0{,}66 \times 10^6$/ml en été et de $0{,}65 \times 10^6$/ml en hiver.

Le nombre de bactéries psychrotrophes présentes dans les eaux usées brutes était à peu près le même (52×10^3/ml) durant les deux périodes d'échantillonnage. En été, la population d'organismes psychrotrophes dans les bassins de traitement primaire s'élevait à 74×10^4/ml; en hiver, elle avait légèrement baissé, se chiffrant à 24×10^4/ml. Cette différence montre que les organismes mésophiles, qui prédominent dans la flore microbienne en été, sont remplacés par des organismes psychrotrophes en novembre, lorsque la température des eaux de lagunage se situe entre 0 et 1 °C.

On donne au tableau 7 divers autres chiffres sur les populations d'organismes mésophiles et psychrotrophes.

Tableau 7
Résultats des numérations bactériennes (10^6/ml)

Point d'échantillonnage	Bactéries totales	Bactéries psychrotrophes (%)	Bactéries mésophiles (%)	Bactéries psychrotrophes totales	Bactéries mésophiles totales
Bassins de traitement primaire					
Au début de l'hiver	0,8	30	70	0,24	0,56
En été	102	0,75	99,25	0,74	101,23
Bassin de traitement secondaire					
Au début de l'hiver	0,65	84	16	0,55	0,10
En été	0,66	0,5	99,5	0,003	0,657

1) En hiver, la population totale d'organismes psychrotrophes (10^6/ml) a augmenté dans le bassin de traitement secondaire par comparaison à ce qu'elle était dans les bassins de traitement primaire (de 0,24 à 0,55 par multiplication); dans tous les cas, la teneur en oxygène dissous était nulle.

2) En été, les populations totales d'organismes mésophiles et psychrotrophes étaient moins nombreuses dans le bassin de traitement secondaire que dans les bassins de traitement primaire à cause de différences de charge.
3) Dans les bassins de traitement primaire, les populations psychrotrophes et mésophiles totales étaient plus élevées en été qu'en hiver (la croissance de ces deux types d'organismes ralentit à basse température).
4) Dans le bassin de traitement secondaire, les populations mésophiles totales étaient plus élevées en été qu'en hiver, tandis que l'inverse s'observait dans le cas des organismes psychrotrophes. (La chaleur est plus propice au développement des organismes mésophiles.)

Caractéristiques des boues de lagunage. - On s'est aussi intéressé au changement de la composition des boues selon les saisons; il s'agissait de voir quel rôle les boues peuvent remplir dans le traitement des eaux usées.

Lorsqu'on examine les résultats présentés au tableau 8, on peut tirer les conclusions suivantes:

Paramètres chimiques

1) Lors des deux programmes d'échantillonnage, la teneur des boues en matières solides totales était plus élevée dans le bassin de traitement primaire 1 que dans le bassin 2.
2) Lors des deux programmes d'échantillonnage, la teneur des boues en matières volatiles totales était la même dans le bassin de traitement primaire 2 et à l'entrée du bassin de traitement secondaire.
3) Lors des deux programmes d'échantillonnage, les plus basses teneurs en matières solides totales et la proportion de matières volatiles dans les boues ont été relevées à la sortie de l'installation de lagunage.
4) En novembre, la teneur moyenne du liquide en matières solides totales avait baissé, tandis que la teneur en matières volatiles avait augmenté.
5) En novembre, la teneur en matières solides totales et la proportion de matières volatiles avaient augmenté à proximité de la sortie du bassin de traitement secondaire (peut-être à cause de la décantation d'une masse d'algues mortes).

Paramètres microbiologiques

1) En été, les populations bactériennes totales dans les échantillons de boues étaient extrêmement élevées, mais les numérations bactériennes n'ont pas mis en évidence des différences significatives entre les bassins de traitement secondaire et primaire.

Tableau 8
Caractéristiques des boues de lagunage à Inuvik

Point d'échantillonnage	Temp. des sédiments (°C)	pH	Matières solides totales (mg/l)	Matières solides volatiles		Numérations bactériennes totales (x 10^8/g)	Bactéries psychrotrophes	
				Total	% des MST		(num. x 10^6/g)	(%)
En été (31 juillet au 9 août)								
Bassin de traitement primaire 1	4 - 6	6,5 - 6,5	25 400 17 700*	16 010	63	7,70 11,12*	20,45 41,1	3,2
Bassin de traitement primaire 2	-	6,6 - 6,7	10 800	5 900	59	14,65	61,80	4,2
Bassin de traitement secondaire								
1er point d'échant.	-	6,6 - 6,7	13 800	5 934	43	16,3 11,7*	53,80 35,8	3,3
2e point d'échant.	-	7,3 - 7,3	3 800	1 558	41	7,15	17,95	2,5
Au début de l'hiver (23 au 28 novembre)								
Bassin de traitement primaire 1	0 - 1	7,1 - 7,35	19 400 18 400*	6 790	35	0,89 0,78*	24,48 22,03	27,5
Bassin de traitement primaire 2	0 - 1	6,8 - 6,9	17 400	5 220	30	0,67	19,58	29,2
Bassin de traitement secondaire	0 - 1	7,05 - 7,20	13 200	6 072	46	1,16	93,7	80,8
1er point d'échant.						1,21*	159,7	
2e point d'échant.	0 - 1	7,25 - 7,30	8 400	4 872	58	2,54	225,75	88,9

* Valeurs moyennes.

2) Dans tous les bassins, le nombre total de bactéries a baissé d'un ordre de grandeur durant l'hiver. En moyenne, les numérations bactériennes se chiffraient à environ 11 x 10^8/g (en poids sec) en été et variaient entre 0,8 et 1,2 x 10^8/g (en poids sec) en hiver.

3) Le nombre moyen d'organismes psychrotrophes mesuré en été (41 x 10^6/g (en poids sec)) dans les boues des bassins de traitement primaire est passé du double au simple (22 x 10^6/g (en poids sec)) en novembre.

   Cependant, les numérations ont montré que dans le bassin de traitement secondaire, les populations d'organismes psychrotrophes avaient augmenté par un facteur de 3,5 env. au début de l'hiver, atteignant 160 x 10^6/g (en poids sec).

4) La proportion d'organismes psychrotrophes dans les boues échantillonnées en été est restée à environ 3 ou 4 p. 100, même si la température (de 4 à 6 °C) des sédiments se situait entre des limites normalement propices au développement de ces organismes. La proportion d'organismes psychrotrophes en été n'était que de 0,5 à 0,75 p. 100 à une température de l'eau comprise entre 15 et 18 °C. Il se peut que ces populations aient été perturbées à cause de la température élevée des eaux des couches supérieures. En novembre, la proportion d'organismes psychrotrophes dans les boues a augmenté de façon significative: dans les bassins de traitement primaire, elle s'est élevée de 28 p. 100 et dans le bassin de traitement secondaire, de 85 p. 100.

Conclusions. - La forte réduction de la DBO (80 p. 100) qui s'observe au début de l'hiver et la présence d'une importante population psychrotrophe dans les eaux et les boues de lagunage viennent étayer l'hypothèse que la décomposition des matières organiques dans des bassins de lagunage en régions nordiques est due à des bactéries qui peuvent se multiplier et exercer leurs fonctions métaboliques à basse température.

Par contre, on s'est plutôt étonné de la rareté des organismes psychrotrophes (de 4 à 5 p. 100) dans les boues échantillonnées en été, car leur température reste assez basse pour qu'elles soient propices au développement de ces organismes. En 1981, Henry et Prasad ont néanmoins observé le même phénomène dans le liquide mixte d'un digesteur aérobie fonctionnant à basse température (5 °C): la proportion d'organismes psychrotrophes est restée inférieure à 1 p. 100 de la population totale de bactéries viables.

On s'efforce actuellement de trouver l'explication de la grande efficacité du lagunage en hiver; les données préliminaires indiquent que les bactéries psychrotrophes sont l'un des principaux facteurs mis en jeu. La population bactérienne totale est restée la même en été et en hiver dans le bassin de traitement secondaire, mais la proportion d'organismes

psychrotrophes a augmenté, passant de moins de 1 p. 100 à plus de 80 p. 100 avec la venue de la saison froide. L'abondance de ces organismes témoigne de l'importance de leur rôle durant le lagunage en hiver.

3.5.11 Aménagement. - Le rendement du processus de stabilisation dépend non seulement de la charge organique, de la température, etc., mais aussi de la géométrie des bassins, de leurs dimensions et de leur nombre. Il y aurait donc lieu de considérer les points suivants:

1) Le concepteur sait que s'il augmente le nombre de réacteurs (ou bassins) d'une installation, le régime d'écoulement intégral (EI) est modifié et l'on obtient un écoulement piston (EP). Ainsi, lorsqu'on parle d'un réacteur simple à EI, on peut envisager une série de réactions en régime d'écoulement piston. L'élimination de la DBO et des MeS obtenue dans ces conditions est meilleure. À titre d'exemple, on rapporte que la DBO totale des effluents d'une installation de sept bassins ne dépassait pas 30 mg/l, tandis que les eaux traitées d'une installation de trois bassins étaient de qualité médiocre en hiver. Dans certains pays, notamment en Afrique du Sud, on a constaté que l'élimination des micro-organismes est plus efficace dans les installations à bassins multiples. On ne possède pas de données précises quant au nombre de bassins nécessaires pour que le traitement soit optimal mais en général, on recommande fortement d'en aménager trois, et au minimum deux. La modélisation hydraulique pourrait peut-être nous apporter la solution de ce problème important.
2) Il est connu que le court-circuitage est l'un des grands problèmes du lagunage. Le meilleur moyen d'éviter ce phénomène est d'aménager les bassins en série. Toutefois, lorsqu'on décide du nombre de bassins à aménager, il ne faut pas oublier l'aspect économique de l'épuration. Les chicanes (en surface et en profondeur) donnent de bons résultats en été, mais en hiver la glace peut entraver leur fonctionnement. Il faudrait approfondir cette question.
3) On a constaté que la géométrie du bassin influe sur la dispersion dans les eaux de lagunage et, par conséquent, sur le brassage. Les opinions divergent à ce sujet. Souvent, la géométrie des bassins est déterminée par le terrain. Selon certains chercheurs, notamment Middlebrooks et coll., il faut un bassin rectangulaire avec un rapport longueur/largeur de 1/1 ou 2/1 pour que l'écoulement piston soit optimal. Certains recommandent un rapport de 3/1.
4) Dans les installations en série et en parallèle, il faut prévoir des mécanismes de contrôle, notamment des canalisations et des robinets, au moment de l'aménagement.

5) La vidange des effluents peut être continue, intermittente ou nulle (rétention contrôlée et totale). Par comparaison aux installations à vidange contrôlée, l'exploitation des installations à vidange continue demande moins de temps et leur aménagement exige moins de terrain. Le lagunage s'y fait en parallèle, surtout en hiver, car la charge organique est ainsi mieux distribuée. Pour optimiser les résultats, le traitement se fait en série en été et en parallèle en hiver. L'opérateur doit posséder une certaine compétence pour que l'installation donne son plein rendement tout au long de l'année.

La vidange intermittente peut se faire en automne ou au printemps. La vidange automnale est préférable parce que le niveau des cours d'eau récepteurs est souvent plus élevé et les effluents sont d'une assez bonne qualité (algues peu abondantes, faible teneur en ammoniaque et faible DBO). Pour protéger les eaux réceptrices, il faut déterminer le moment le plus propice pour la vidange et comment régulariser le débit des effluents. Dans la documentation, on recommande de se servir d'hydrographes pour décider du moment de la vidange. Il faut étudier d'autres méthodes aussi efficaces.

Dans les installations à rétention totale, l'équilibre se maintient grâce à l'infiltration et à l'évaporation. Cette méthode présente deux avantages: aucun effluent n'est déversé dans un cours d'eau récepteur et le terrain n'exige aucune surveillance.

3.5.12 Modèles de lagunage en milieu facultatif. - On essaie de reproduire à l'aide de modèles, les réactions qui se déroulent dans un bassin de lagunage. On veut ainsi donner au concepteur et à l'opérateur un instrument leur permettant de déterminer le comportement de l'installation en réponse à divers types de milieux et à diverses conditions d'opération.

Le rendement de la stabilisation dépend des facteurs suivants: qualité des eaux brutes, température du liquide, apport d'énergie solaire, superficie, charge organique, DBO volumique, formes et dimensions (longueur, largeur, profondeur, diamètre) du bassin, régime d'écoulement (intégral, mélange, écoulement piston dispersé, etc.), brassage et dispersion par l'effet des vents, nombre de bassins, évaporation, précipitations, infiltration, exfiltration, glace et neige, court-circuitage, temps de séjour et charge benthique. Considérant le nombre de variables mises en jeu, il n'est pas étonnant qu'il n'existe actuellement aucune formule précise les représentant toutes.

Si un modèle simplifié à l'extrême est d'un emploi pratique, il peut par contre manquer de précision pour la conception. Par contre, un modèle complexe représenté par une série de formules compliquées peut être trop éloigné de la réalité ou son application

peut demander trop de temps. Nous devons donc nous efforcer de trouver un moyen terme pour la mise au point d'un procédé de conception basé sur des principes solides mais assez simple pour être pratique.

On a mis au point des modèles statistiques de type "boîte noire", des modèles hydrauliques et des modèles biochimiques où l'on suppose que la vidange est continue et que le régime hydraulique est intermédiaire entre l'écoulement piston et l'écoulement à mélange intégral. Cette approche empirique résulte de l'observation d'installations en exploitation et donne des premières approximations de l'élimination de la DBO, de la réduction des populations bactériennes et de l'élimination des substances nutritives. Les constantes de vitesse appliquées à ces approximations peuvent être déterminées en laboratoire ou en conditions réelles.

Parmi les modèles empiriques, mentionnons celui de McGarry et Pescod et celui de Gloyna. L'équation de régression de McGarry et Pescod, mise au point pour les eaux à forte charge organique, sans tenir compte de la température ou de la profondeur du bassin, ne peut être appliquée au lagunage en régions froides. L'équation empirique de Gloyna est largement acceptée, parce qu'elle tient compte de paramètres importants, mais lorsqu'on l'applique au lagunage en régions froides, elle donne des résultats incohérents. Les problèmes que pose l'application de ce modèle au lagunage en régions froides sont probablement dus au fait que l'ensoleillement dans le nord du Canada n'est pas le même que dans le sud-ouest des États-Unis, région pour laquelle il a été conçu.

Parmi les modèles analytiques, on compte ceux de Marais, Oswald et Thirumurthi. Dans le premier modèle qu'il a présenté en 1969, Thirumurthi applique l'écoulement dispersé de Wehner et Wilhelm (1956) pour reproduire un écoulement non idéal, intermédiaire entre l'écoulement piston et l'écoulement à mélange intégral. Pour estimer le facteur de dispersion, qui peut varier selon les conditions du milieu, on peut se servir du schéma de conception de Thirumurthi, mais il vaut mieux déterminer ce facteur à l'aide d'un traceur dans des bassins de géométrie semblable à celui qu'on veut aménager. La faible corrélation avec les données des installations de lagunage du nord des États-Unis serait due au court-circuitage et au fait que la constante de vitesse d'élimination de DBO_5 générale a été mal évaluée. En 1974, Thirumurthi a présenté un modèle à écoulement piston ($d = 0$) dans lequel il a introduit un facteur de correction de la charge organique (CO) pour tenir compte de l'énergie solaire disponible pour la photosynthèse chez les algues. Il a préparé pour l'atelier une description sommaire des divers modèles de conception appliqués au lagunage en milieu facultatif avec vidange continue. (Voir l'Annexe D-3.)

Plusieurs chercheurs ont surveillé des installations de lagunage en exploitation afin de vérifier l'exactitude des modèles de conception mis au point jusqu'ici (voir 3.6.3): aucun ne s'est révélé satisfaisant. Les équations empiriques, de même que les modèles cinétiques, ont donné des résultats que ne corroborent pas les données publiées sur le rendement du lagunage.

Aucun des modèles ne tient compte de la différence entre la DBO des matières décantables et celle des matières dissoutes dans les eaux brutes. Or, cette distinction est importante car la stabilisation des matières organiques dissoutes est due aux algues et aux micro-organismes aérobies, tandis que pour les matières organiques décantées, le processus de stabilisation s'accomplit principalement sous l'action des micro-organismes anaérobies des couches profondes.

Les facteurs hydrauliques comme l'évaporation, les précipitations, l'infiltration d'eaux souterraines et l'exfiltration des eaux de lagunage dans le sol ne sont pas considérés dans les équations de conception actuelles. Il y aurait lieu d'en tenir compte car sous leur action, les eaux usées se diluent ou se concentrent.

Il faudrait étudier davantage la décomposition anaérobie des boues pour déterminer la valeur d'un facteur de correction qui permettrait de tenir compte des effets de la charge benthique sur l'efficacité du lagunage. Si nous disposions de formules de conception facilement applicables, fondées sur une connaissance suffisamment étendue de la théorie du lagunage et des mécanismes qui en règlent les interactions physiques, chimiques et biologiques complexes, nous pourrions concevoir de façon rationnelle des installations de lagunage efficaces et rentables pour les régions froides.

3.6 Conception de l'installation

3.6.1 Choix de l'emplacement. - Pour choisir l'emplacement, le concepteur doit avoir une idée de la superficie de l'installation, qui dépend de l'importance de la population et du degré d'industrialisation de la région desservie. À l'étape préliminaire, l'ingénieur doit faire appel à toutes les sources de renseignements pertinents dont il peut disposer. Les cartes topographiques, les relevés aériens, les données hydrologiques et géotechniques lui sont alors utiles.

Après ce travail préliminaire, il faut voir quelles sont les préférences du maire, des membres du Conseil municipal et des employés des services publics quant au lieu où l'installation devrait être aménagée.

Les gens de la région peuvent parfois apporter des renseignements utiles sur le niveau des crues, la composition de la roche-mère, la direction des vents prédominants et les projets de développement.

Une fois ces démarches terminées, il faut faire une analyse approfondie ainsi qu'un relevé géotechnique des lieux pour voir s'il y a de la roche, si le terrain se trouve en zone de pergélisol et pour étudier les eaux souterraines et les caractéristiques du sol.

Dans les Prairies, il est rare que la topographie pose de véritables problèmes parce que le terrain est plat. Ailleurs dans le pays, la topographie est un facteur important lorsqu'on détermine l'emplacement de l'installation, le nombre de bassins à aménager et leur forme.

En plus de choisir le terrain suivant les voeux des autorités et de la population, il faut aussi s'assurer que le projet est financièrement abordable. L'alimentation en électricité et les routes d'accès influent aussi sur le coût de l'aménagement.

Éloignement. - On aménage les installations de lagunage à une certaine distance des zones habitées essentiellement pour réduire au minimum les problèmes d'odeurs et pour décourager les gens de venir sur les lieux sans raison. En choisissant l'emplacement d'une installation, il faut penser à l'avenir et faire en sorte que l'expansion urbaine ne soit pas entravée. Il arrive souvent que la ville s'étende en direction des installations d'épuration sans que cela ait été voulu, parce que le réseau d'égouts et les routes sont déjà aménagés. En général, les installations de lagunage devraient être aménagées aussi loin que possible des localités qu'elles desservent. L'éloignement acceptable suivant la réglementation devrait être considéré comme un minimum et non un maximum.

Au Manitoba, ce sont les populations desservies, les experts-conseils et les responsables de la réglementation en matière de protection de l'environnement qui ont décidé où les installations de lagunage devaient être aménagées. Bientôt, l'utilisation du sol devra être approuvée en fonction de l'affectation prévue dans les plans régionaux et des subdivisions, et d'autres conditions stipulées dans les lois et les règlements d'aménagement municipaux. Au Manitoba, on exige que les installations de lagunage soient entourées d'une zone tampon de 30 m même en zone agricole; cette précaution n'est pas imposée en raison des odeurs mais à cause d'autres facteurs, notamment les risques de fuite.

En Ontario, on impose également une distance d'éloignement minimum qu'on a tendance à appliquer comme une norme, peu importe la nature des eaux traitées.

Au Québec, comme les installations d'épuration sont généralement aménagées pour desservir des municipalités qui possèdent déjà un réseau d'égouts, le seul emplacement possible est le point le plus bas du territoire de la ville. L'idéal serait que les installations

de lagunage aéré soient aménagées à 300 m au moins des zones habitées. Dans certains cas, lorsqu'il est impossible de satisfaire à ce critère, on peut réduire l'éloignement à 150 m si d'autres facteurs, notamment la direction des vents, etc., le permettent. Les installations de lagunage non aéré doivent être aménagées à 600 m des zones habitées. Depuis 1979, la qualité des effluents de lagunage et les points de rejet doivent être approuvés en vertu des règlements sur l'exploitation des terres agricoles et sur la protection de l'environnement. En outre, les installations de lagunage doivent se trouver au-delà de la limite des crues du cours d'eau récepteur établie pour les cent dernières années.

Certains pensent que les habitants des zones desservies devraient décider eux-mêmes jusqu'à quel point ils sont prêts à s'accommoder des odeurs une fois qu'on leur a expliqué cet inconvénient du lagunage. Il faut toutefois se rappeler que les conseils municipaux et les habitants d'une ville changent. En substance, on peut dire que personne ne veut d'une installation de lagunage d'où émanent des odeurs nauséabondes et qui restreint l'exploitation des terres environnantes.

Il est bon que les règlements de zonage interdisent toute construction, en particulier des résidences, dans la zone tampon et le long des routes qui passent dans le secteur des installations. Par exemple, le Service des eaux et des déchets de Winnipeg s'est opposé à l'exploitation des terres dans les environs des installations de lagunage de la ville et même près des usines d'épuration mécanique. La difficulté est que les terres en cause sont la propriété de particuliers. Dans un cas, un promoteur avait fait l'acquisition de terres près de l'extrémité sud de la station d'épuration et le Service mentionné a fait valoir qu'il ne voulait pas de construction sur ces terres. Le promoteur ne s'y est pas objecté mais a exigé une compensation pour les terres confisquées. La municipalité est en fait le propriétaire de droit de ces terres. Inuvik est également un cas d'expansion progressive de la zone habitée jusqu'aux installations de lagunage.

Parce qu'on ignore comment éliminer les odeurs, les installations de lagunage sont aménagées aussi loin de la ville que les coûts le permettent. Les gens s'opposent à l'aménagement de grandes installations de lagunage à cause des émanations d'odeurs. Si l'on pouvait résoudre ce problème, le lagunage serait mieux accepté et deviendrait un mode d'épuration encore plus économique.

Il faut aussi se rappeler que l'éloignement est un important facteur de sécurité, car on réduit ainsi au minimum non seulement les dangers auxquels peuvent être exposés les habitants et les animaux sauvages et domestiques de la région mais aussi les risques de vandalisme. Ce facteur compte encore plus lorsqu'il s'agit de petites installations desservant des zones résidentielles rurales et des établissements publics.

Poursuites judiciaires à cause d'émanations d'odeurs. - Dans le secteur agricole, le problème est tel que les poursuites engagées pourraient aboutir à la fermeture de certaines exploitations. Actuellement, deux poursuites ont été engagées en Colombie-Britannique.

Trois plaintes pour désagréments causés par des odeurs ont été portées à notre attention.

- La municipalité de Portage-la-Prairie a fait l'objet de poursuites dans les années soixante. Il y avait deux aspects en cause: les fuites et les émanations d'odeurs. La municipalité n'a pas eu gain de cause au sujet des fuites, mais elle l'a emporté sur la question des émanations d'odeurs. En effet, bien que cela n'ait rien apporté à la défense, le juge a, semble-t-il, estimé que les faits démontrent que le lagunage ne peut se faire sans émanations d'odeurs. On semble considérer que c'est un effet inhérent au traitement. La municipalité a donc pu faire valoir son point de vue sur cette question.
- Il y a eu deux cas en Alberta. Un entrepreneur du parc national de Jasper dont l'exploitation se trouve juste à côté des installations de lagunage de Bard a engagé des poursuites contre le gouvernement fédéral, disant que tous les printemps, les odeurs désagréables qui se dégageaient des bassins éloignaient sa clientèle. Il a eu gain de cause et pour remédier au problème, on a installé des dispositifs d'aération. Dans l'autre cas, c'est l'aéroport international de Calgary qui a été mis en cause. L'aéroport possède en effet un bassin de lagunage pour les eaux pluviales. La municipalité de Calgary ayant demandé qu'on règle le problème que causaient les émanations de H_2S tous les printemps, on a également installé un dispositif d'aération.

Il est surprenant qu'aucune poursuite n'ait été intentée au Canada contre une municipalité à cause des émanations d'odeurs des installations de lagunage. On pense que ce n'est maintenant qu'une question de temps.

3.6.2 Aménagement des installations sur le pergélisol. - Dans les régions arctiques, tout particulièrement, on ne saurait trop insister sur l'utilité d'une évaluation géotechnique pour la détermination de l'emplacement, la conception et l'aménagement des installations de lagunage sur le pergélisol. Un peu plus de 50 p. 100 des terres du Canada se trouvent dans la zone de pergélisol. Il ne faut pas monter très loin au nord pour l'atteindre; cette zone discontinue passe au nord de toutes les provinces des Prairies. Ainsi, sa limite méridionale n'est qu'à 320 km au nord de Winnipeg, au sud de l'extrémité

septentrionale du lac Winnipeg. On la retrouve aussi au sud de la Baie James, en Ontario et au Québec. Enfin, on la retrouve à des points élevés des Rocheuses, à Terre-Neuve et dans la Baie de Gaspé. Dans la zone continue, l'horizon est gelé en permanence à une certaine profondeur sur toute l'étendue de la zone et le pergélisol s'étend sous de nombreux petits lacs et cours d'eau.

Choix de l'emplacement. - Le choix de l'emplacement de l'installation de lagunage est très important car il faut éviter autant que possible le pergélisol. Malheureusement, dans la zone discontinue, il se trouve habituellement dans les terres basses. Pour éviter des problèmes, il vaut mieux choisir un terrain plus élevé, quitte à installer un dispositif de pompage.

Il faut aussi tenir compte du fait que bien des agglomérations de l'extrême nord canadien se trouvent sur la côte. À cause de la détente isostatique et de la glaciation, le sol y est salin et gelé, sa température étant inférieure au point de congélation et, dans certains cas, elle est à -2 ou -3 °C. Les matériaux sont donc gelés, sans toutefois renfermer de la glace; leur emploi peut poser des problèmes, surtout si l'on s'en sert pour la construction de bermes.

En étudiant le terrain, il faut aussi voir de quels matériaux on dispose pour l'écran interne d'étanchéité des bermes et choisir ceux qui leur conféreront le plus de stabilité. On explique deux façons de construire une digue imperméable dans divers régimes thermiques à la figure 9 du rapport SPE 4/NR/1 (*Les étangs de stabilisation dans les régions nordiques*, juillet 1985, p. 46.).

Comment éviter les problèmes dus au dégel. - Certains des problèmes que posent les ouvrages en zone de pergélisol sont dus au fait que le sol contient de l'eau et qu'il est toujours gelé. Il renferme donc de la glace, en plus des pierres et du gravier. Ces matériaux riches en glace peuvent se tasser en dégelant sous l'influence de facteurs thermiques qui font monter la température du sol au-dessus du point de dégel. Ce phénomène donne lieu à des mouvements différentiels qui peuvent entraîner de l'érosion et le bris des canalisations.

La plus grande partie des terres du Nord a été touchée par la glaciation; le concepteur doit donc composer avec des dépôts glaciaires, des limons, des limons sableux, des sables fins et de l'argile compacte ou friable, pierreuse ou non. Dans certains cas, il peut y avoir des tourbières. Elles sont parfois épaisses, mais en général ne forment qu'une couche très mince à la surface du sol.

Tous ces matériaux sont en général très peu recommandés en construction parce que souvent ils sont gelés et contiennent de la glace. C'est tout particulièrement le cas des

matériaux qui sont gelés 8 ou 9 mois sur douze, mais qui dégèlent en été. Le pergélisol sous-jacent demeure gelé en permanence.

Ces matériaux se compactent difficilement ou pas du tout, surtout s'ils sont gelés. En outre, à cause de leur forte teneur en eau, ils se travaillent mal lorsqu'ils dégèlent. Il faut parfois les traiter si l'on veut les employer dans un ouvrage imperméable, comme une berme de bassin de lagunage.

En hiver, s'il n'y a pas assez de neige, l'ouvrage de retenue peut geler en profondeur, surtout du côté extérieur. Les eaux d'infiltration tendent alors à s'écouler vers le coeur de la berme gelé, où elles forment des lentilles de glace. Si le matériau employé pour construire la berme est très poreux et si la base du bassin l'est aussi, la ligne de charge hydraulique atteindra le niveau de la nappe phréatique. Toutefois, il arrive souvent que l'eau migre jusqu'à la zone touchée par le gel. Pour éviter qu'il ne se forme de grosses lentilles de glace, il faut donc faire en sorte de limiter le plus possible la quantité d'eau migrante. On voit que pour prévenir les fuites, il ne suffit pas de veiller à ce qu'il ne s'accumule pas de liquide autour de la base du bassin.

Dans la zone de pergélisol discontinue et dans certaines parties méridionales de la zone continue, il est impossible d'empêcher le dégel du sol sous les bassins de lagunage et sous les ouvrages qui les bordent. Dans ces conditions, il faut que les bermes des ouvrages de retenue soient entièrement imperméables ou qu'elles comportent un écran interne d'étanchéité. Dans la zone de pergélisol continue, on peut construire des digues imperméables avec des matériaux gelés.

L'aménagement doit être planifié soigneusement et longtemps à l'avance. Il peut arriver que la machinerie dont on dispose sur les lieux ne fasse pas l'affaire et qu'il faille se procurer d'autres équipements. Pour les installations des petites localités du Nord, les meilleures techniques praticables sont davantage le fait de la géométrie du bassin de lagunage que des teneurs maximales en DBO, MeS, etc. dans les effluents ou encore du "traitement secondaire". Cela revient à dire qu'il faut déterminer le temps de séjour pour chaque type de bassin. Les conditions du traitement secondaire en bassin de lagunage ont été définies en termes de géométrie des bassins et de temps de séjour plutôt qu'en fonction de la qualité d'effluents recherchée. Tous ceux qui interviennent dans l'aménagement ou l'utilisation des installations, soit l'ingénieur, le concepteur, l'entrepreneur et l'opérateur, doivent se rappeler que le bassin de lagunage et les digues imperméables qui l'entourent doivent rester en bon état pendant de nombreuses années.

3.6.3 Lagunage en milieu facultatif. - La conception des installations conventionnelles de lagunage en milieu facultatif peut se faire suivant diverses approches:

- critère de la charge organique;
- critère du temps de séjour;
- modèles empiriques et analytiques.

Charge organique. - Au Canada, la valeur de la charge organique (DBO_5) recommandée par les divers organismes de réglementation provinciaux varie de 22,4 kg/ha · jour à 56,1 kg/ha · jour.

Les valeurs inférieures de DBO_5 des eaux usées permettent d'obtenir des effluents dont la DBO_5 se situe entre 10 et 15 mg/l et la teneur en MeS, entre 10 et 20 mg/l; on réduit aussi au minimum les émanations d'odeurs au dégel printanier. En Alberta et au Manitoba, où la charge est plus élevée, la DBO_5 des effluents doit être d'environ 30 mg/l et leur teneur en MeS, d'environ 50 mg/l.

Certains concepteurs estiment que toute la question revient à déterminer la charge organique maximale avec laquelle on peut produire des effluents de la qualité voulue sans que les émanations d'odeurs soient inacceptables.

Temps de séjour. - On a constaté que dans les installations à vidange continue des régions froides, le critère de la charge organique ne suffit pas pour produire des effluents d'une qualité acceptable, sauf en été. Dans la plupart des municipalités, on se sert maintenant du temps de séjour minimal comme critère de conception.

Dans certaines des dernières publications parues sur la question, on indique qu'il faut compter au moins 120 à 150 jours, même lorsque les conditions sont assez bonnes. Dans les régions froides, il faut prévoir de 180 à 365 jours. En Alberta, un temps de séjour d'un an est en voie de devenir réglementaire. On peut réduire cette période à condition que:

a) l'on utilise les effluents pour irriguer des terres; le temps d'emmagasinement peut alors être réduit à 7 ou 8 mois;

b) l'emmagasinement soit précédé d'un traitement secondaire mécanique; le temps peut alors être réduit à 7 mois.

En Alberta, la conception des installations de lagunage diffère selon que les ouvrages sont situés dans le sud ou dans le nord de la province. Dans le sud, le climat est plus chaud et plus sec et les eaux traitées sont en demande pour l'irrigation des terres; les bassins de lagunage à temps de séjour plus court sont donc acceptés.

Échantillonnage. - Si l'on voit l'ensemble de l'installation de lagunage comme un grand réacteur, il faut concevoir l'échantillonnage pour un processus à écoulement piston et non pour une série de carrés ou de grands cercles; afin que l'échantillonnage des effluents d'un réacteur à mélange intégral soit un tant soit peu valable, il faut que les échantillons soient prélevés après divers temps de séjour pour qu'on puisse établir une relation entre la qualité des eaux brutes et celle des effluents.

- Dans le cas d'un réacteur à mélange intégral, on doit recueillir des échantillons à six temps de séjour différents si l'on veut suivre la progression de l'épuration et pouvoir relier la qualité d'un effluent à la DBO_5 des eaux brutes. On obtient une courbe exponentielle.
- Dans le cas d'une installation à écoulement piston ou à mélange partiel, dont le mode de mélange est inconnu, on suggère que l'échantillonnage porte sur quatre temps de séjour.

Comme l'élimination de la DBO obéit à une réaction cinétique d'ordre 1, il faudrait, pour qu'elle soit optimale, trois ou quatre bassins à mélange intégral, placés en série, afin que le volume retenu soit le plus faible possible et que la qualité des effluents soit la meilleure possible. Toutefois, le coefficient de vitesse de réaction k est rarement connu, surtout lorsque l'aménagement comprend des bassins multiples. Le lagunage dans un seul bassin à mélange intégral peut donner de bons résultats, mais le volume d'eaux usées à épurer est alors plus élevé. Cette constatation vaut pour les installations comportant deux bassins; les résultats sont satisfaisants mais non optimaux.

Pour déterminer le nombre optimal de bassins qui permettrait de réduire au minimum les investissements tout en produisant des effluents de qualité maximale, il faut connaître les vitesses de réaction et faire des hypothèses sur le régime de mélange; par exemple, étant donné qu'une conception optimale exige l'écoulement piston, il s'agit d'évaluer jusqu'à quel point, considérant le genre d'aménagement, on s'approche d'un écoulement piston, par opposition au mélange intégral.

Modèles empiriques et analytiques. - Presque toutes les équations actuellement employées en conception impliquent un état d'équilibre (qualité des eaux brutes constante et stabilité du milieu, c'est-à-dire valeurs constantes d'énergie solaire, de température, de vitesse des vents, etc.). En supposant un tel état d'équilibre, on est plus à même de produire des modèles de conception simples et pratiques. Cependant, comme tous les paramètres dont nous venons de parler varient d'heure en heure et de jour en jour, il n'est pas réaliste de croire que ces modèles peuvent nous apporter des renseignements précis

sur le traitement. À moins d'avoir un programme informatisé qui tienne compte de toutes ces variables et d'étudier le problème en fonction du type d'aménagement, on n'arrivera peut-être jamais à formuler une équation qui permette de prévoir avec précision la qualité des effluents.

La plupart des modèles du Dr Thirumurthi s'appliquent à des installations de lagunage à vidange continue aménagées dans des régions tempérées (Texas, Floride, et régions du sud de l'Inde). À l'Annexe D-4, on a reproduit une version révisée d'un article du Dr Thirumurthi sur les critères applicables dans la conception des étangs de stabilisation ("Design Criteria for Waste Stabilization Ponds"); cet article est paru dans le *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 1974, 46(9) p. 2094-2106. Comme on l'indique dans le *Design Manual - Municipal Wastewater Stabilization Ponds* (EPA 625/1-83-015, octobre 1983), Middlebrooks les a utilisés pour son étude de trois installations de lagunage en milieu facultatif du nord des États-Unis, et il a constaté qu'aucun n'était précis.

Le Dr Thirumurthi rapporte avoir obtenu de bons résultats lorsqu'il a appliqué son modèle utilisant un coefficient standard d'élimination de la DBO, K, de 0,055 par jour, à 20 °C, pour des installations de lagunage à vidange continue situées en Nouvelle-Écosse. La DBO des eaux brutes, qui est de 22,4 kg/ha · jour, est éliminée à 90 p. 100 en été et à environ à 80 p. 100 en hiver: les mesures ont corroboré les estimations.

L'énergie solaire nécessaire à la photosynthèse chez les algues est un facteur limitant très important lorsque le bassin de lagunage est recouvert de glace et de neige. Dans ces conditions, elle baisse sous la limite estimée dans les régions du sud, soit 8 langleys/kg de DBO · ha · jour. Pour tenir compte des valeurs mesurées dans le Nord canadien, il faut un facteur de correction de la charge organique (CO) à valeur négative, ce qui rend le modèle du Dr Thirumurthi inapplicable. Le Dr Thirumurthi a aussi souligné que son modèle ne s'applique pas aux installations de lagunage à exploitation intermittente.

Le Dr Thirumurthi pense qu'en raison des nombreux facteurs qui influent sur le lagunage, on n'arrivera probablement jamais à formuler une équation ou un modèle qui nous permettent de prévoir avec précision la qualité des effluents dans des conditions données. On peut néanmoins espérer améliorer les modèles actuels pour avoir des résultats s'approchant de 20 p. 100 des valeurs réelles.

Fonctions et géométrie des bassins. - Il existe divers types d'installations de lagunage: on les distingue par la forme, la disposition et le mode de vidange des bassins. Chaque type de bassin a des fonctions précises.

Les petits bassins dans lesquels se déversent les eaux brutes remplissent une fonction différente de celle des grands bassins d'emmagasinement (ou d'affinage) en fin de circuit.

Il faut faire des distinctions pour être en mesure d'optimiser la fonction de chacun des éléments de l'installation.

Nous examinerons brièvement les bassins de pré-aération, les bassins de traitement primaire anaérobiose, les bassins de traitement en milieu facultatif et les bassins d'affinage et d'emmagasinement.

Bassins de traitement primaire anaérobie. - Ces bassins de petites dimensions sont placés en début de circuit; ils servent à:

- Maintenir la température aussi élevée que possible dans la première partie du circuit.
- Donner une certaine marge de manoeuvre pour l'accumulation et l'enlèvement des matières solides décantées telles que les boues.
- Réduire la charge dans les bassins où s'effectue l'essentiel de l'épuration.

Rendement. - Dans les régions froides, le traitement anaérobie devrait permettre d'éliminer la DBO_5 et les MeS dans la même mesure qu'un traitement primaire. À Whitehorse, l'hiver dure neuf mois et l'on traite par lagunage anaérobie des eaux usées diluées; la DBO_5 est éliminée à 35 ou 40 p. 100, les matières en suspension, à environ 50 p. 100 et les coliformes, à 70 p. 100.

Critères de conception. - Les critères de conception actuellement appliqués ont été établis en fonction des techniques d'aménagement pratique en usage, en tenant compte du fait qu'il est impossible de stopper les émanations d'odeurs lorsque les bassins sont trop grands. Les bassins de lagunage anaérobie sont conçus en fonction d'un temps de séjour de 2 ou 5 jours, les risques d'émanation d'odeurs augmentant avec le temps de séjour.

La profondeur et les dimensions des bassins de traitement anaérobie sont déterminées en fonction de critères pratiques. La profondeur peut varier entre 3 et 8 m. Lorsque le débit des eaux usées est inférieur à 13 kl/jour, on ne peut aménager les bassins suivant les normes si l'on veut limiter le temps de séjour à 4 ou 5 jours, puisque cela exige une profondeur de 3 m avec un rapport de 3 pour 1 entre les parties horizontales et verticales des côtés, ce qui physiquement est impossible. En outre, les engins utilisés pour la construction ne peuvent être manoeuvrés dans un bassin aussi petit et aussi profond. Dans les installations qui desservent de petites populations, les bassins de traitement anaérobie sont souvent trop grands pour les besoins, ce qui concourt à l'émanation d'odeurs.

En Alberta, on propose maintenant d'éliminer les bassins de traitement anaérobie profonds dans les petites installations. On suggère que les eaux usées soit acheminées directement dans une lagune de 1 à 5 m de profondeur, divisée en 2 ou 3 sections, où les

eaux séjourneraient 60 jours. La première section doit être assez profonde pour que la canalisation d'arrivée des eaux usées soit submergée et ne risque pas de geler.

Le ministère de l'Environnement de l'Alberta reconnaît que les bassins de traitement anaérobie augmentent considérablement le coût des grandes installations et qu'il s'en dégage des odeurs. Il n'est toutefois pas question de les supprimer par le biais des normes de conception, leur utilité étant indéniable.

Bassins de pré-aération. - On peut aussi installer de petits bassins de pré-aération en amont de la lagune pour:

- Réduire la charge dans les bassins de traitement principaux.
- Éliminer les odeurs.
- Laisser les matières solides décantées s'accumuler sous forme de boues lorsque le mélange est incomplet.

La fonction essentielle de la pré-aération est d'oxygéner intensivement les eaux à traiter pour favoriser la réduction de la DBO et éliminer les odeurs, sur une superficie nettement plus petite ou dans un volume beaucoup plus petit.

Un apport énergétique de 1,64 à 2,46 $W/10^3$ l peut permettre d'uniformiser la distribution de l'oxygène dans les bassins aérés, mais il n'est pas suffisant pour que les matières solides décantables demeurent en suspension de façon homogène.

On traite en détail de la conception et de l'équipement d'aération en 3.6.4 à la rubrique consacrée au lagunage aéré.

Bassins de traitement principaux. - Il s'agit des bassins de traitement en milieu facultatif où l'essentiel de l'épuration s'accomplit dans les installations de lagunage classiques. Certaines installations n'en comptent qu'un; dans d'autres, on en a placé plusieurs en série et en parallèle. En général, ils mesurent de 1,5 à 2 m de profondeur. Selon la région du Canada où se trouve l'installation, le temps de séjour (TSH) est de 60 jours au moins et il faut compter des charges organiques (DBO) de 22,4 kg/ha · jour à 56,1 kg/ha · jour lorsqu'on y traite des eaux usées brutes. S'ils sont précédés de bassins de traitement anaérobie ou aéré, la charge organique est réduite d'au moins 30 p. 100.

S'ils sont suivis de bassins d'emmagasinement, on peut s'en servir pour éviter le court-circuitage au moment de la vidange.

Les considérations présentées ci-dessous s'appliquent à la conception de toutes les installations de lagunage où l'on se sert de bassins de traitement en milieu facultatif pour des fins d'épuration et d'emmagasinement.

- Si l'on précise le temps de séjour, il faut voir si celui-ci est déterminé en fonction du volume total au niveau maximal ou s'il faut tenir compte du volume d'eau morte lorsqu'on descend sous le niveau opérationnel minimum. En général, on ne tient pas compte des précipitations nettes, de l'infiltration, des fuites ou du manque d'étanchéité des bermes.
- Il faut prévoir l'expansion des installations.
- Il faut déterminer l'effet de rejets industriels dans les eaux à traiter et en tenir compte.
- Il faut faire en sorte que le réseau de canalisations puisse être adapté pour le traitement en série et en parallèle, ainsi que pour l'ajustement du niveau du liquide. L'aménagement des canalisations doit permettre de vider les bassins pour la réparation des bermes et de les isoler pour l'enlèvement des boues.
- Les dispositifs de régulation de l'écoulement doivent être placés sur le côté d'une berme plutôt qu'au centre pour laisser le libre passage aux véhicules.
- Pour la régularisation du niveau des eaux de lagunage, même en cas de vidange complète, il faut employer d'autres moyens que les batardeaux; on suggère plutôt des canalisations en T renversées avec robinet.
- Il faut prendre toutes les mesures nécessaires pour combattre l'érosion en tenant compte des vents et de la glace.

Bassins d'affinage et d'emmagasinement

- Le temps de séjour dans les bassins d'affinage peut varier entre 6 et 12 mois (il peut atteindre deux ans dans l'Extrême Nord) et la charge (DBO) se situe entre 7 et 20 kg/ha · jour.
- En Ontario, il y a environ 245 installations de lagunage; dans la plupart des cas, les normes de qualité des eaux réceptrices interdisent la vidange en été. Le temps de séjour minimum doit être de 120 jours environ.
- Au ministère de l'Environnement de l'Alberta, on s'attend à ce que la qualité des effluents des bassins d'emmagasinement s'améliore considérablement, car on prévoit porter le temps de séjour minimum à 12 mois quelle que soit l'époque de la vidange. (Actuellement les eaux doivent être retenues sept mois.)
- Pour déterminer la profondeur des bassins d'emmagasinement, il faudrait avoir plus d'informations sur, notamment, la présence ou l'absence d'une thermocline, la pénétration des rayons ultra-violets, l'intensité du mélange et la désinfection naturelle.

- Les dimensions des bermes dépendent du volume de liquide à traiter, de la quantité de boues qui s'accumulera au fond du bassin, de l'épaisseur de la glace et de la neige et du volume net des pertes et des apports d'eau dus aux pluies, à l'infiltration, à l'évaporation et à l'exfiltration.
- En Alberta, on envisage aussi d'augmenter à 2,5 m la profondeur maximale acceptable pour les bassins d'emmagasinement; elle est actuellement de 2,4 m.
- Le ministère de l'Environnement de l'Ontario autorise que les bassins aient une profondeur maximale de 2,7 m à condition que la charge (DBO) soit inférieure à 11,2 kg/ha · jour. La profondeur autorisée a été déterminée en supposant que la DBO est considérablement réduite avant l'emmagasinement.
- Si l'on augmentait de 1 m la profondeur acceptable pour l'emmagasinement et l'affinage, par exemple de 2,5 m à 3,5 m, non seulement pourrait-on abaisser de 10 ou 20 p. 100 le coût de l'aménagement, mais les conditions seraient alors plus propices à la nitrification et à la dénitrification.
- Lorsque la profondeur du bassin d'emmagasinement dépasse 1,7 m, la vidange par écoulement gravitaire n'est dans bien des cas plus possible. S'il faut recourir au pompage, il est toujours plus économique d'acquérir le terrain requis et de construire un bassin moins profond, comme cela se fait d'ailleurs souvent.
- Si on augmente la profondeur des bassins pour réduire la superficie de terrain requis au lieu d'en augmenter la capacité en les agrandissant, les coliformes risquent d'être plus nombreux dans les effluents car la désinfection naturelle est réduite dans ces conditions.

3.6.4 Lagunage aéré. - Il existe deux types de bassins de lagunage aéré: le bassin de lagunage aérobie à mélange intégral et le bassin de lagunage en milieu facultatif à mélange partiel. Le premier se caractérise par le fait que l'apport énergétique y est suffisant pour que toutes les matières solides demeurent en suspension, que la demande en oxygène soit satisfaite, que la teneur en oxygène dissous reste assez élevée (en général, elle dépasse 1 mg/l) dans tout le bassin et que l'écoulement présente toujours un profil à mélange intégral.

Dans le second type de bassin, l'apport énergétique permet de satisfaire à la demande en oxygène, mais il n'est pas suffisant pour que toutes les matières solides demeurent en suspension. Certaines particules se déposent au fond du bassin, constituant une charge benthique. Les couches supérieures sont aérobies, tandis que près du fond, le milieu est anaérobie.

La différence entre le lagunage aéré et le lagunage en milieu facultatif dont il a été question tout au long de l'atelier est que dans le premier cas il y a oxygénation forcée. Les bactéries, les processus par lesquels les matières organiques sont converties en biomasse et les réactions chimiques, sont les mêmes.

Charges et qualité des effluents. - La charge organique dans les bassins de lagunage aéré en milieu facultatif (DBO, exprimée en mg/l · jour) est inférieure d'environ 1,0 à 1,5 ordre de grandeur à celle qu'on peut mesurer dans un bassin de traitement à boues activées avec aération prolongée. Comme les matières solides décantent dans les bassins de lagunage aéré en milieu facultatif, la teneur des effluents en matières en suspension peut être de l'ordre de 40 à 50 mg/l. Lorsque la charge (DBO) est de 19 à 29 mg/l, la DBO_5 des effluents non filtrés peut se situer entre 25 et 80 mg/l et celles des effluents filtrés, entre 20 et 40 mg/l.

En pratique, dans les installations de lagunage aéré à mélange intégral où l'on traite des rejets industriels organiques, la DBO est à peu près la même que dans les installations de traitement à boues activées. Si le traitement s'arrête là, la DBO des effluents est tout à fait inacceptable. Les effluents de lagunage contiennent une très grande quantité de matières en suspension apportées par les eaux à traiter ou produites au cours du traitement. Le traitement aérobie en bassin de lagunage aéré doit donc être suivi d'un affinage qui servira surtout à réduire la teneur en matières en suspension des effluents.

Aérateurs. - Il existe différents types de dispositifs pour oxygéner le liquide de lagunage, que le traitement se fasse en milieu facultatif avec brassage peu intense ou en milieu aérobie aéré avec brassage intense.

Certains dispositifs d'aération peu intense consistent en des compresseurs qui expulsent de l'air dans des tubes de plastique à fentes qu'on place au fond du bassin, en les espaçant selon l'effet recherché. Un aérateur de ce genre, l'Air-Aqua, permet de faire diffuser l'air dans l'eau à pression très basse de sorte que l'effet de brassage est extrêmement faible tandis que l'oxygénation est raisonnablement élevée. Les dépôts de carbonates colmatent toutefois les fentes des tubes et on doit les nettoyer régulièrement au chlorure d'hydrogène anhydre.

Cet aérateur permet de reproduire les conditions du traitement en milieu facultatif avec écoulement piston dans deux bassins disposés en série, en ajustant l'espacement des diffuseurs pour un temps de séjour total de 28 jours.

Il y a aussi les aérateurs tubulaires fixes: chaque aérateur est relié à sa base à une canalisation d'air comprimé disposée sur le fond du bassin. Les eaux à traiter entrent dans le bassin par la base des aérateurs tubulaires et sont entraînées vers le haut avec l'air.

L'agitation intense dans l'aérateur tubulaire favorise l'oxygénation.

Dans une installation de lagunage à bassin unique où le temps de séjour est de 20 jours, la majorité des aérateurs tubulaires sont placés à l'entrée du bassin pour que la puissance atteigne 5 W/m^3 (les diffuseurs à fentes ont une puissance de 1 W/m^3 seulement). On se rapproche plus du mélange intégral dans la zone d'arrivée d'eau, tandis que l'aération est faible à l'autre extrémité du bassin. Dans ces conditions, les effluents sont de meilleure qualité.

On a déjà fait l'essai de ces aérateurs dans une installation à boues activées de l'Ontario: l'apport d'oxygène était suffisant pour éliminer la DBO, mais le brassage n'était pas assez intense pour que les matières solides demeurent en suspension.

Lorsqu'elle conçoit des installations de lagunage pour des régions nordiques, la firme Stanley and Associates aménage au moins deux bassins en parallèle, suivis d'un bassin non aéré avec TSH de 2 jours pour la décantation des matières en suspension. Dans la première partie du bassin aéré, le TSH est d'environ 6 jours; on a installé des aérateurs tubulaires fixes pour que la puissance se situe entre 1,64 et 2,64 $W/10^3$ l de façon à approcher le plus possible du mélange intégral. L'autre partie, où les eaux séjournent environ 10 jours, est également aérée, mais moins intensément, la puissance y étant d'environ 0,3 ou 0,5 $W/10^3$ l. L'aération est intense en début de circuit parce que la DBO est élevée; cela contribue également à maintenir les matières solides en suspension.

L'entreprise a préféré employer des aérateurs tubulaires fixes car elle avait connu des problèmes avec l'autre type d'aérateur immergé décrit auparavant: les orifices se sont bouchés et les tubes se sont brisés. En hiver, seul l'espace se trouvant juste au-dessus de l'aérateur reste libre de glace. L'épaisseur de glace autour des aérateurs permet toutefois d'y avoir accès, si besoin est. En fait, lorsqu'il fait très froid, l'aérateur est recouvert d'un monticule de glace au centre duquel se forme un petit orifice. L'aération demeure néanmoins très efficace.

Comme nous l'avons déjà dit dans la partie 2.2.4, l'Alberta conduit une étude comparative dans deux installations comportant un petit bassin d'une capacité de rétention de 3 ou 4 jours avec mélange intégral, où la puissance est d'environ 5 ou 6 W/m^3, ce qui est élevé; les eaux sont ensuite gardées 25 jours en conditions d'aération moins intense, puis elles subissent un affinage de 4 jours sans aération. Dans un cas, on se sert d'aérateurs tubulaires fixes; dans l'autre, on emploie des diffuseurs d'air. Les deux procédés donnent des résultats satisfaisants.

Il existe divers autres modèles d'aérateurs immergés. L'aérateur Pemberthy, par exemple, est un dispositif de brassage et d'oxygénation à pompe, assez efficace, qui se

place au fond du bassin. Certains dispositifs permettent d'oxygéner les eaux de lagunage même lorsqu'elles sont complètement recouvertes de glace.

On peut aussi aérer les eaux des bassins au moyen d'un aérateur mécanique flottant. L'aération se fait adéquatement à la faveur des remous que la machine crée. Les aérateurs flottants sont presque toujours des dispositifs à grande vitesse. Ils fonctionnent généralement à 1700 tours/minute. Ils assurent un brassage moyennement intense mais n'agissent pas en profondeur (entre 1,5 et 2,1 m au maximum), à moins qu'ils ne soient pourvus d'une bonne cheminée d'aspiration. Dans les installations des régions froides, ils ne sont pas efficaces à l'année longue à cause de la variation des charges et du fait que les eaux gèlent complètement.

Dans une installation de lagunage du Manitoba où le temps de séjour est de 14 jours, on a installé un aérateur mécanique juste au-dessus de la canalisation d'arrivée des eaux usées, la chaleur de ces dernières servant à prévenir le gel. En hiver, la DBO est éliminée à 70 p. 100, sans émanations d'odeurs. Toutefois, les données recueillies sur l'élimination de la DBO réalisée durant l'année ne permettent pas de distinguer les périodes où l'aérateur fonctionnait.

Les aérateurs mécaniques montés sur pont sont généralement des dispositifs à vitesse lente: 60 tours/minute environ, comparativement à 1700 tours/minute pour les aérateurs flottants. Ils ne sont pas toujours reliés au rebord du bassin par une passerelle. Ils permettent de mélanger les eaux jusqu'à une profondeur de 5 m et plus lorsque l'arbre de transmission est plus long et que la turbine est plus basse. En fait, ils permettent de maintenir les matières solides en suspension à la grandeur du bassin. C'est le genre de dispositif qu'on emploie généralement dans les installations de lagunage aéré aérobie.

En régions froides, il est difficile de faire fonctionner les aérateurs montés sur pont en hiver, car ils sont alors recouverts de glace.

Court-circuitage. - Pour que le mélange soit considéré tout à fait complet dans une installation de lagunage où l'on fait une étude au traceur, le colorant doit apparaître dans l'effluent très peu de temps après qu'on l'ait ajouté aux eaux brutes. Pour déterminer s'il y a court-circuitage, il faut comparer le temps de séjour hydraulique (TSH) moyen avec le TSH théorique. L'important est de voir comment la coloration diminue en fonction du temps. Si, par exemple, le TSH moyen est de 7 jours dans un bassin avec TSH théorique de 30 jours, on peut conclure qu'il y a court-circuitage.

Le mode d'aération influe sur l'écoulement. Le concepteur qui recherche l'écoulement piston doit se rappeler que les courants de densité, qu'ils soient superficiels ou profonds,

peuvent avoir une action négative importante et produire un court-circuitage. Le TSH dépend aussi de l'aménagement des arrivées et des sorties d'eau, de la géométrie du bassin et de la présence de chicanes.

Comme nous l'avons déjà dit, le mode d'aération influe sur l'écoulement. L'aération en profondeur est généralement plus propice à l'écoulement piston; en hiver, la glace cause aussi moins de problèmes avec ce genre de dispositif. L'expérience montre qu'il est impossible d'avoir un écoulement piston véritable dans une installation de lagunage aéré. L'écoulement qu'on peut obtenir se situe entre l'écoulement piston et le mélange intégral, comme l'illustre le Dr Thirumurthi (Annexe D-4).

Teneur en oxygène dissous sous la glace. - Des chercheurs de l'Université de Sherbrooke (Québec) ont mesuré, à l'aide d'un analyseur d'oxygène à membrane, la teneur des eaux en oxygène dissous sous la glace en hiver: elle se situait entre 4 et 5 mg/l et les valeurs de saturation.

Lorsque la glace forme une couche d'environ 2 m d'épaisseur, l'oxygénation des eaux peut se faire au moyen d'un aérateur immergé. L'air se rendra jusqu'à l'aérateur sans qu'il soit nécessaire de percer la glace. Pour prévenir le bris des canalisations du diffuseur d'air, il faut tenir compte du mouvement des glaces dû à la pression de l'air en hiver et au dégel, et concevoir le système d'ancrage en conséquence.

Les dispositifs d'insufflation de bulles d'air peuvent servir à ralentir la formation de la glace dans les bassins de retenue où la chaleur des couches profondes réchauffe toute la masse d'eau. On ne peut compter sur cet effet de réchauffement dans les bassins de lagunage des installations municipales normales. Au Manitoba, on a étudié des bassins de retenue desservant des exploitations agricoles ou des municipalités; on a constaté que la température des eaux est uniforme en hiver: 4 °C tant en surface qu'au fond du bassin.

Coefficients du modèle mathématique. - Dans un article (version révisée) portant sur la théorie et les critères de conception pratiques du Service de gestion des eaux municipales du ministère de l'Environnement du Québec, Jean-Marc Jalbert examine la conception des installations de lagunage aéré en milieu facultatif, ainsi que les résultats de travaux commandés à l'École polytechnique de Montréal sur les valeurs de travail des coefficients K et θ appliqués pour la méthode de conception employée.

Bien que les résultats aient été relativement bons, les chercheurs de l'École polytechnique ont conclu que le respiromètre de Warburg est plus fiable que la mesure de la DBO, méthode habituellement employée pour déterminer la valeur des coefficients K et θ en laboratoire.

On a recueilli des données pendant trois saisons dans une installation de lagunage aéré du Québec: la corrélation entre les valeurs de K et de θ déterminées en laboratoire et les valeurs réelles calculées n'était pas satisfaisante. Bien qu'on ait recueilli une somme de données considérable (tableau 9), il faudra étudier des installations où les conditions sont plus favorables pour vérifier la validité des coefficients employés dans la méthode de conception qu'on propose dans les notes techniques.

Si l'on en juge d'après la documentation consacrée à la question, il semble que l'évaluation du coefficient K prête à confusion, car chacun obtient une valeur différente.

Il y a un effet de retardement qu'il faut expliquer. Si l'on traite des eaux usées de même nature dans trois bassins de lagunage ayant un TSH différent, le coefficient K le plus élevé correspondra au bassin ayant le TSH le plus court parce qu'il est plus facile dans ces conditions d'éliminer la DBO initiale. Inversement, au bassin ayant le TSH le plus long, correspondra la valeur de K la plus basse. Autrement dit, lorsque tous les paramètres sont constants et que l'on traite des eaux de même nature, la courbe du coefficient K en fonction du temps de séjour part des valeurs élevées et descend à mesure qu'augmente le temps de séjour, c'est-à-dire à mesure que le coefficient augmente en fonction de la charge organique.

Tableau 9
Interprétation des résultats obtenus avec les modèles mathématiques

Réservoir	Indice de dispersion (d)	DBO résiduelle (C_e/C_i)	Valeur de K à 20 °C (K_{20})	Essai	Valeur moyenne de K pour chacun des essais	Charge organique, L_l ($g/m^3 \cdot j$)	K étalon pour chacun des essais (corrigé en fonction de la charge organique) (K_s)
P1	5,6	0,247	0,281	P	0,287	19,8	0,288
P2	4,6	0,237	0,289	P	0,287	19,8	0,288
P3	3,6	0,227	0,292	P	0,287	19,8	0,288
Q1	3,0	0,095	0,235	Q	0,232	6,7	0,288
Q2	1,9	0,085	0,232	Q	0,232	6,7	0,288
Q3	1,3	0,080	0,230	Q	0,232	6,7	0,288
R1	4,5	0,143	0,250	R	0,250	9,8	0,287
R2	3,2	0,138	0,248	R	0,250	9,8	0,287
R3	2,0	0,122	0,252	R	0,250	9,8	0,287

Remarque: La valeur moyenne de K pour les trois essais est de 0,288.

Dans son étude intitulée "Design guidelines for incompletely mixed or aerobic-anaerobic aerated lagoons" publiée dans *The Canadian Journal of Civil Engineers*, Vol. VII, N° 1, 1980, le Dr Thirumurthi a proposé des directives sur la conception des bassins de lagunage aéré en milieu facultatif (groupe 2): elles sont inspirées des résultats qu'il a obtenus en laboratoire avec trois réservoirs de 53,5 cm de profondeur, de formes et de dimensions différentes. Pour ses essais, le Dr Thirumurthi a fait varier la charge, le temps de séjour ainsi que le régime d'aération et de brassage par application d'air sous pression. Avant de déterminer la valeur du coefficient K, il attendait que le processus soit en équilibre.

Avant les essais, il a réalisé une étude au moyen d'un traceur pour estimer l'indice de dispersion (d) dans chacun des trois réservoirs à différents régimes d'aération. Il a constaté que l'indice augmente en fonction du débit de l'air. Habituellement, lorsque le rapport entre la longueur et la largeur du réservoir est élevé, la valeur de d est faible (c'est-à-dire qu'on se rapproche de l'écoulement piston). La quantité d'air nécessaire pour que toutes les matières solides demeurent en suspension était nettement supérieure à celle exigée pour assurer l'oxydation des matières organiques (DBO).

En théorie, l'équation de Wehner et Wilhelm devrait donner les mêmes valeurs de K à 20 °C pour les trois réservoirs étudiés lors d'un même essai. Les erreurs expérimentales et les imprécisions sont considérées comme négligeables, ce qui ajoute à la validité de l'équation de Wehner et Wilhelm et du schéma de Thirumurthi pour la conception des bassins de lagunage aéré à mélange partiel.

La valeur moyenne de K_{20} dans chaque essai variait de 0,287/jour à 0,232/jour; l'effet de retardement devient évident à mesure que le TSH augmente.

On se sert d'un coefficient universel ou constante (K_s) dans la conception des bassins de lagunage aéré pour calculer leur volume en fonction d'un ensemble de facteurs choisis de façon arbitraire. Pour le Dr Thirumurthi, les normes correspondant à K_s sont une température de l'eau de 20 °C et une charge organique de 20 $g/m^3 \cdot$ jour.

La ligne droite qui représente K_{20} en fonction du log L (charge organique) donne une pente qu'illustre l'équation suivante:

$$\log_{10}20 - \log_{10}L_1 = 8{,}5\,(K_s - K_{20}) \qquad \textbf{(3-1)}$$

où K_{20} est le coefficient d'élimination de la DBO du premier ordre lorsque la charge organique (exprimée en $g/m^3 \cdot$ jour) est de L_1 et la température, de 20 °C.

On se sert de l'équation ci-dessus pour corriger K_s pour l'étude du processus en conditions réelles, quelle que soit la charge. Les valeurs de K déterminées en laboratoire

sont généralement un peu plus élevées que celles obtenues d'après les mesures effectuées en conditions réelles.

La valeur moyenne de K_S déterminée par ces travaux est de 0,29/jour, comme on peut le voir en consultant le tableau 3-6 de l'étude précitée; c'est cette valeur qu'on propose d'employer comme facteur-clé dans la conception des installations de lagunage aéré en milieu facultatif qui sont destinées au traitement des eaux usées (domestiques) municipales. En 1979, le Dr Thirumurthi recommandait d'employer un coefficient K_S de 0,50 pour les installations de lagunage aéré aérobie à mélange intégral.

Il faut corriger la constante de l'élimination de la DBO (K_S) en fonction de la température réelle du liquide (T) en appliquant à l'équation le coefficient de correction de température (θ); ce coefficient déjà connu se situe normalement entre 1,030 et 1,055.

$$K = K_S\theta\ (T-20) \qquad \textbf{(3-2)}$$

Le Dr Thirumurthi a appliqué cette méthode à la conception d'installations de lagunage aéré en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard avec $K_S = K_{20} = 0,3$ par jour et un facteur de correction de la température (θ) de 1,035. En hiver, alors que la température du liquide est de 2 ou de 3 °C, la DBO est éliminée à environ 80 p. 100. En été, la température est d'environ 15 °C; la DBO est éliminée à 90 p. 100. On s'est servi de ces paramètres dans la conception d'une installation de lagunage aéré en milieu facultatif desservant deux localités de l'Île-du-Prince-Édouard; les mesures ont révélé que la DBO est éliminée à 88 p. 100 en été et à environ 83 p. 100 en hiver. La DBO de la charge quotidienne est de 8 g/m^3 lorsqu'on traite des eaux usées municipales domestiques. Le temps de séjour varie entre 20 et 28 jours.

Certains des participants de l'atelier ont exprimé des doutes quant à la validité des valeurs de K déterminées au moyen du respiromètre de Warburg ou selon la technique des bouteilles à DBO. Les résultats dépendent de la façon dont les épreuves sont réalisées. À l'échelle pilote, l'intensité du brassage et la quantité de matières solides qui demeurent en suspension influent sur la valeur de K obtenue. Pour reproduire les phénomènes qui se déroulent dans un bassin de lagunage, il faut recréer tant les processus biologiques que le régime de brassage, ce qui est difficile à réaliser en laboratoire. Avec le respiromètre de Warburg, la valeur de K est d'autant plus élevée que le brassage est plus intense. On peut déterminer des valeurs relatives de K dans la mesure où l'on emploie toujours la même technique, mais il n'est pas prudent d'employer les valeurs d'un autre chercheur sans connaître exactement la méthode qu'il a utilisée pour les déterminer.

Pour les cas inhabituels, par exemple lorsque les eaux à traiter contiennent des rejets industriels de nature inconnue, il est essentiel de bien déterminer en laboratoire la plage des valeurs de K. Autrement, il est plus prudent d'établir un schéma de conception raisonnable en s'inspirant des installations qui donnent de bons résultats au lieu d'ajuster des coefficients de réaction et des facteurs de correction hypothétiques jusqu'à ce qu'on arrive à un schéma sensé.

Déphosphoration. - Pendant environ un an et demi, des chercheurs du Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke ont étudié la déphosphoration en laboratoire ainsi que dans une installation de lagunage aéré en milieu facultatif des Cantons de l'Est (Québec). Ces installations comportent deux bassins munis d'aérateurs de surface, qu'on enlève lorsque l'hiver approche (mi-novembre). On procède de cette manière depuis sept ans, sans aucun problème. Dans ces installations, les eaux brutes sont peu concentrées à cause de l'infiltration; la DBO et la teneur en matières en suspension se situent autour de 70 à 80 mg/l. La teneur en phosphore total dans les eaux brutes est de 4,27 mg/l en été et de 4,17 mg/l en hiver. Dans les effluents, elle s'élève à environ 3 ou 4 mg/l avant traitement chimique.

Afin de réduire d'environ 1 mg/l la teneur en phosphore total dans les effluents, on a fait l'essai de trois coagulants: l'alun, le chlorure ferrique et la chaux. Il semble que l'alun soit le meilleur.

D'après les résultats des travaux décrits ci-dessus, on peut tirer les conclusions ci-dessous:

- Il y a une relation linéaire entre la déphosphoration et la quantité de coagulant employée; elle est représentée par une équation simple: $\ln (P_r/P_o) = K_p \cdot M/P_o$, où P_r et P_o sont respectivement les teneurs finales et initiales en phosphore (mg/l), K_p est la constante de proportionnalité et M, la quantité de coagulant employée (mg/l).
- Si l'on considère la déphosphoration au stade primaire, on constate que pour réduire la teneur en phosphore total de 95 p. 100, le quotient Al/P doit être de 2,55; pour que la teneur en phosphore soit réduite de 99 p. 100, il faut augmenter le quotient à 3,75, les autres conditions restant les mêmes. Le pH est de 7,80. Lorsqu'on l'abaisse à 6,50, le quotient Al/P diminue de façon spectaculaire, sa valeur se situant alors entre 1,50 et 1,85.
- La déphosphoration au stade secondaire (bassin d'aération) est également efficace, mais lorsqu'on considère la quantité d'agents chimiques nécessaire et les conditions d'exploitation, elle n'est pas économique. Ainsi, au stade primaire, un quotient Al/P_o

de 1,50 suffit pour abaisser la teneur en phosphore total dans une proportion de 97 p. 100. Pour obtenir le même résultat au stade secondaire, il faut un quotient Al/P_o de 4,50.

- Lorsque le quotient Al/P_o est égal ou supérieur à 0,70, les orthophosphates filtrables précipitent. En deçà de cette valeur, on ne peut éliminer que les polyphosphates.
- Les résultats de nos travaux montrent aussi que les variations de température n'ont pas d'effets négatifs sur la coagulation. Divers paramètres, notamment la quantité de coagulant nécessaire et l'élimination de la DBO et des MeS, sont demeurés essentiellement les mêmes, en hiver comme en été. Pour le traitement au chlorure ferrique au stade primaire, on a constaté que le pH optimal est de 4,75.
- À ce pH, le quotient Al/P_o nécessaire pour abaisser la teneur en phosphore total de 95 p. 100 est de 6,80 et il doit s'élever à 10,20 pour une réduction de 99 p. 100. Le chlorure ferrique pose beaucoup plus de difficultés que l'alun. Toutefois, pour traiter des eaux à faible teneur en phosphore filtrable (PF) (de l'ordre de 1,5 à 3,0 mg/l), il donne de meilleurs résultats que l'alun.
- Avec le $FeCl_3$, l'application d'un polyélectrolyte, à raison de 0,30 mg/l, donne un bien meilleur floc, plus facilement décantable. La chaux est un coagulant efficace pour le traitement des eaux usées. Toutefois, il faut en employer une grande quantité pour arriver à éliminer la proportion de phosphore voulue. Nous avons constaté que pour abaisser la teneur en phosphore total de 50 p. 100, la quantité de coagulant nécessaire dépasse 500 mg/l; une fois le produit ajouté, le pH est monté à 11,50. On étudie actuellement les variations saisonnières des espèces de phosphates dans les eaux usées d'installations de lagunage aéré en exploitation. Les résultats montrent que la teneur totale moyenne en orthophosphate (OT) diffère peu en été et en hiver (c.-à-d. moins de 1 p. 100). Toutefois, la valeur mesurée dans les effluents en été dépasse de 34 p. 100 celle qu'on trouve en hiver.
- Le quotient POT/PT augmente de 32 p. 100 en été par rapport à la valeur calculée pour l'hiver. Cette hausse est probablement due au fait que par temps chaud les bactéries hydrolysent les polyphosphates en orthophosphates. Il faudrait vérifier ces observations dans d'autres installations de lagunage exploitées de la même façon.

3.6.5 Considérations sur le mode d'exploitation et l'entretien

Dispositifs de régulation du débit des effluents. - Les batardeaux disposés en série sont un moyen fréquemment employé pour ajuster le niveau du liquide de lagunage. Comme ils ont tendance à gonfler et à se coincer dans les rainures qui les retiennent, il

peut être difficile de les retirer. Lorsqu'on les sort de l'eau, ils perdent parfois leur étanchéité. Les batardeaux inutilisés risquent d'être volés ou, pis, de tomber dans les canalisations de vidange. Au lieu de batardeaux, on peut utiliser des canalisations de trop-plein ou de vidange contrôlées par des robinets. On peut aussi employer des conduites en T renversées.

Nous déconseillons généralement l'usage des batardeaux. Ils se manipulent mal. En général, nous recommandons aussi d'installer une conduite en T renversée pour l'évacuation du trop-plein. Le trou d'homme servant à réguler l'effluent devrait être aménagé sur le côté de l'axe central des bermes de façon à ce qu'il ne gêne pas le passage des véhicules. Dans le trou d'homme, il devrait y avoir un robinet dont la tige monte jusqu'en haut; ce robinet peut aussi servir pour régulariser la vidange des bassins.

L'aménagement doit permettre d'accéder sans problèmes aux dispositifs de régulation et aux postes d'échantillonnage.

Protection contre l'érosion. - Il est parfois arrivé que des vents forts endommagent sérieusement les bermes ou que celles-ci ne remplissent pas leur fonction à cause de l'action du vent sur les rebords du bassin. Par le passé, on faisait pousser du gazon sur les bermes pour les protéger de l'érosion. Les vents faibles sont aussi cause d'érosion; les vagues qu'ils génèrent détériorent, au fil des années, les bermes du côté exposé.

Les enrochements en perré et des estacades sont aussi utilisés comme protection contre l'érosion mais il faudrait trouver des moyens plus efficaces.

Prévention des fuites. - Le ministère de l'Environnement de l'Alberta a préparé un manuel de conception (*Design and Construction of Liners for Municipal Wastewater Stabilization Ponds*) dont un résumé doit accompagner les prochaines normes révisées. On a constaté que les fuites sont cause d'importants problèmes dans les installations de lagunage. Les normes régissant l'évaluation géotechnique du terrain ainsi que la conception et l'installation des revêtements doivent être strictes et détaillées.

ANNEXE A

Programme de l'atelier

ATELIER DE TRAVAIL SUR LE LAGUNAGE EN RÉGIONS FROIDES
HÔTEL FORT GARRY, WINNIPEG (MANITOBA)
DU 5 AU 7 JUIN 1985

PROGRAMME

Organisé par:

Direction des services techniques (Environnement Canada)
Direction générale des services techniques et des marchés
(Affaires indiennes et du Nord Canada)
Direction générale des services médicaux (Santé et Bien-être social Canada)

Mercredi le 5 juin

"SITUATION ACTUELLE"

Le mot du président - Dave Hay

"Besoins et attentes"	Représentants
Environnement	Dave Hay
Hygiène publique	Bert Caine
Propriétaires et opérateurs	Bob Holloway et Barry MacBride
Experts-conseils	Pat Given
Universités	Art Sparling et Eric Davis

Point de vue américain - Al Townshend

CANADA

Évaluation des modes d'exploitation et de l'efficacité du lagunage en régions froides - Dan Smith, professeur de génie civil, Université de l'Alberta, Edmonton.

Présentation de données recueillies sur le lagunage au Canada - J.M. Jalbert, J. Neil, G. Rupke, Rangit Soniassy. (Voir Annexe E.)

"THÉORIE DU LAGUNAGE"

Président	Dan Smith
Secrétaire	Dave Green
	Conférenciers
Considérations d'ordre climatique, biologique, physico-chimique et géotechnique	John Neil, Durga Prasad et Ross Bulley
Nombre de bassins, aménagement et géométrie, régulation de la vidange	Subba Narasiah et Alvin Beier

Jeudi le 6 juin

"CONCEPTION ET EXPLOITATION DES INSTALLATIONS DE LAGUNAGE"

Président	Bob Dawson
Secrétaire	Ross Holden
	Conférenciers
Choix de l'emplacement	Pat Given et Yves Lord
Modèles de conception et besoins en recherche actuels	Dan Thirumurthi
Processus	Ron Kent
	Yves Dubuc
	Pat Given
	Pat Lang
Aménagement	Hank Johnston
Exploitation	Gerry Rupke et Paul Klaamas
	Yves Dubuc et Mike Cassiram

"AMÉLIORATION DES INSTALLATIONS DE LAGUNAGE"

Président	Neils Jacobsen
Secrétaire	Ronald Zaloum
	Conférenciers
Aperçu des résultats obtenus en Ontario	Steve Black
Élimination des substances nutritives par la culture de la lentille d'eau	Ross Bulley
Récolte de la biomasse	John Neil
Traitement en marécage naturel	Andy Bemister
Tourbières	Yves Dubuc

"LAGUNAGE AÉRÉ"

Président	Ronald Zaloum
Secrétaire	Neils Jacobsen
	Conférenciers
Conception des installations de lagunage aéré au Québec	Jean-Marc Jalbert
Oxygénation et efficacité du traitement	Gerry Rupke
Déphosphoration	Subba Narasiah

Jeudi le 6 juin (suite)

"DÉMARCHES ULTÉRIEURES"

(Débat récapitulatif sur la théorie du lagunage et ses applications)

Président	John Benner
Secrétaire	Gerry Rupke
Théorie du lagunage	Dan Smith
Conception et exploitation	Bob Dawson
Amélioration des installations de lagunage	Neils Jacobsen
Lagunage aéré	Ronald Zaloum

Vendredi 7 juin

"MISE EN OEUVRE"

Président	Bruce Jank
Secrétaire	Steve Black
	<u>Animateurs</u>
Concensus sur les sujets de recherche	Dan Smith
Classement des sujets de recherche	Bruce Jank
Clôture du débat sur les plans de mise en oeuvre	Bruce Jank
Gouvernement	Mike Van Den Bosch
Experts-conseils	John Neil et Bob Dawson
Universités	Eric Davis

ANNEXE B

Participants

ANNEXE B

Participants à l'Atelier de travail sur le lagunage en régions froides, Winnipeg (Man.), 5 au 7 juin 1985

B.1 Organismes gouvernementaux

M. Pat Lang, P. Eng.
Head, Special Projects
Alberta Environment
Standards and Approvals Division
Municipal Engineering Branch
9820 - 160 Street
Edmonton (Alberta)
T5K 2J6
(403) 427-5877

M. Alvin Beier, Technologist
Alberta Environment, Municipal Engineering Branch
Pollution Control Division
9820 - 160th Street
Edmonton (Alberta)
T5K 2J6
(403) 427-5837

M. Steve Black
Chef, section des eaux et des eaux usées
Direction des ressources en eau
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
1, Avenue St. Clair ouest
Toronto (Ontario)
M4B 1K6
(416) 965-1655

M. Yves Dubuc
Ingénieur
Services municipaux
Case postale 9
Kujjuag (Québec)
J0M 1C0
(819) 964-2941

M. M. Van Den Bosch
Services de contrôle de l'environnement
Environnement, sécurité et hygiène au travail
Case postale 7, Édifice 2
139, avenue Tuxedo
Winnipeg (Manitoba)
R3N 0H6
(204) 945-7015

M. Rene Stauch
Division des services professionnels
Direction du génie et de l'architecture
Parcs Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1G2
(819) 997-6298

M. Rangit Soniassy, Superviseur
Section de lutte contre la pollution
Division des ressources hydrauliques
Affaires indiennes et du Nord Canada
Case postale 1500
Yellowknife (T.N.-O.)
X1A 2R3
(403) 920-8119

M. G.H. Johnston, Chef adjoint
Section de géotechnique
Conseil national de recherches du Canada
Division des recherches en bâtiment
Ottawa (Ontario)
K1A 0R6
(613) 993-3805

M. Bob Luts
Direction de la lutte contre la pollution
Ministère de l'Environnement
Case postale 6000
Frédériction (N.-B.)
E3B 5H1
(506) 453-2861

M. Barry MacBride
Manager, Laboratory Services Branch
Waterworks, Waste and Disposal Div.
Ville de Winnipeg
Case postale 176, Succ. Transconn.
1500 Plessis Rd.
Winnipeg (Manitoba)
R2C 2Z9
(204) 334-4385

M. Jean-Marc Jalbert
Direction de l'assainissement urbain
Ministère de l'Environnement du Québec
3900 rue Marly
Sainte-Foy (Québec)
G1H 4E4
(418) 644-3650

M. Blaine Ganong
Water Pollution Control Branch
Saskatchewan Environment
5th floor, 1855 Avenue Victoria
Régina (Saskatchewan)
S4P 3V5
(306) 565-6178

M. Mike Cassiram
Wastewater Treatment Plant
Superintendent
Waterworks, Waste and Disposal Division
Ville de Winnipeg
1500 Plessis Rd.
Winnipeg (Manitoba)
R2C 2Z9
(204) 338-0308

B.2 Experts-conseils

P.W. Given, P. Eng.
Senior Environmental Engineer
UMA Engineering Ltd. Consulting Engineers
17007 - 107 Ave.
Edmonton (Alberta)
T5G 1G3
(403) 483-7722

Yves Lord, P. Eng.
Groupe-Conseil Roche Limitée
2535, boul. Laurier
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4M3
(418) 871-9600

Dr Bob Dawson, Senior Consultant
Stanley Associates Engineering Ltd.
2633 37th Ave. NE
Calgary (Alberta)
T1Y 5V7
(403) 291-2100

J.W. Gerald Rupke
Rupke & Associates Ltd.
P.O. Box 1570
102 Holland Court
Bradford (Ontario)
L3Z 2B8
(416) 7756-5397

John H. Neil
President
Limnos Ltd.
Environmental Management
22, Roe Ave.
Toronto (Ontario)
M5M 2H7
(416) 487-8874

Ken Buhr
Principal
A.J. Poetker & Ass. Ltd.
1-1455 Waverley
Winnipeg (Manitoba)
R3T 1Y3
(204) 477-5060

Jerry Cousin
J.R. Cousin Consultants Ltd.
1214 boul. Chevrier
Winnipeg (Manitoba)
R3T 1Y3
(204) 284-9346

B.3 Universités

Dr Daniel W. Smith, P. Eng.
Professor of Civil Engineering
Department of Civil Engineering
University of Alberta
Edmonton (Alberta)
T6G 2G7
(403) 432-4138

Dr N. Ross Bulley
Bio-resources Engineering Department
University of British Columbia
2075 Westbrook Mall
Vancouver (C.-B.)
V6T 1W5
(604) 228-3636

Dr Eric Davis
Professor of Civil Engineering
Department of Civil Engineering
University of Saskatchewan
Saskatoon (Saskatchewan)
S7N 0W0
(306) 966-5336

Dr K. Subba Narasiah
Professeur adjoint
Département de génie civil
Université de Sherbrooke
Sherbrooke (Québec)
J1K 2R1
(819) 821-7109

Dr Art Sparling
Associate Professor
Department of Civil Engineering
University of Manitoba
342 Engineering Bldg.
Winnipeg (Manitoba)
R3T 2N2
(204) 474-9221

Dr Dan Thirumurthi
Associate Professor
Dept. of Civil Engineering
Technical University of N.S.
C.P. 1000
Halifax (Nouvelle-Écosse)
(902) 429-8300

M. Durga Prasad, Microbiologist
Dept. of Civil Engineering
University of Toronto
Toronto (Ontario)
M5S 1A4
(416) 978-3141

B.4 Participants des ministères organisateurs

Dave Hay
Chef, Div. des activités urbaines
Direction des programmes industriels
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8
(819) 997-3060

Al Townshend
Chef, Ingénierie de l'environnement du Nord et rural
Direction des services techniques
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8
(819) 997-3405

Bruce Jank
Directeur adj.
Centre technique des eaux usées
Centre canadien des eaux usées intérieures
C.P. 5050, 867 Lakeshore Road
Burlington (Ontario) L7R 4A6
(416) 637-4374

Paul Klaamas
Chef, Déchets municipaux et transfert technologique
Région de l'Atlantique
Conservation et Protection
Environnement Canada
5e étage, Queen Square
45 Alderney Drive
Darmouth (N.-É.) N2Y 2N6
(902) 426-6132

Ronald Zaloum
Ingénieur de projets
Région du Québec
Conservation et Protection
Environnement Canada
1179 Bleury, 3e étage
Montréal (Québec) H3B 3H9
(514) 283-7303

Dave Bergman
Agent de l'environnement
District du Manitoba
Conservation et Protection
Environnement Canada
800 Imm. Kensington
275 Avenue Portage
Manitoba (Winnipeg) R3B 2B3
(204) 949-4815

Bryan Armstrong
Ingénieur des projets principaux
Direction des programmes scientifiques
Région de l'Ouest et du Nord
Conservation et Protection
Environnement Canada
Twin Atria No. 2
A999 - 98th Avenue
Edmonton (Alberta) T5K 2J5
(403) 420-2583

Ron Kent
Agent évaluateur de l'environnement
District des Territoires du Nord-Ouest
Conservation et Protection
Environnement Canada
9e étage, Imm. Bellanca
C.P. 370
Yellowknife (T.N.-O.) Y1A 2B5
(403) 873-3456

Rob McCandless
Direction, Évaluation de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada
Direction du Yukon
Pièce 225, Imm. Fédéral
Whitehorse (Yukon) Y1A 2B5
(403) 667-6487

Joe Belicek
Ingénieur en environnement
District de l'Alberta
Région de l'Ouest et du Nord
Conservation et Protection
Environnement Canada
804, 9942 - 100th Street
Edmonton (Alberta) T5K 2J5
(403) 420-2601

Bob Holloway
Directeur, Services professionnels
Terrasses de la Chaudière
10 rue Wellington, Tour Nord
Ottawa (Ontario) K1A 0H4
(819) 997-0964

John Benner
Chef, Division des services municipaux
Section de contrôle de la pollution et de l'approvisionnement en eau
Terrasses de la Chaudière
10 rue Wellington, Tour Nord
Ottawa (Ontario) K1A 0H4
(819) 994-6429

Ross Holden
Division des services municipaux
Ministère des Affaires indiennes
et du Nord Canada
Terrasses de la Chaudière
10 rue Wellington, Tour Nord
Hull (Ontario) K1A 0H4
(819) 994-6426

Ken Wilson
Ministère des Affaires indiennes
et du Nord Canada
275 Avenue Portage
Pièce 1100
Winnipeg (Manitoba) R3B 3A3
(204) 949-5911

Greg Bull
Ministère des Affaires indiennes
et du Nord Canada
800 Burrard
P.O. Box 1000
Vancouver (C.-B.) V6Z 2J3
(604) 666-5164

Ross Webster
Ingénieur, Service régional de l'hygiène
du milieu
Région du Manitoba
Direction générale des services médicaux
Santé et Bien-être Canada
Pièce 500, 303 rue Principale
Winnipeg (Manitoba) R3C 0H4
(204) 949-7984

Bert Caine, P. Eng.
Assistant Head of Public Health Engineering
Ministry of Public Health
1515 Blanshard
5th floor
Victoria (C.-B.) V8W 3C8
(604) 367-3166 (local 2703)

Roger Brassard
Ministère des Affaires indiennes
et du Nord Canada
320 rue St-Joseph est
C.P. 3725
St-Roch (Québec) G1K 7Y2
(418) 648-4021

Andy Bemister
Ministère des Affaires indiennes
et du Nord Canada
2221 rue Cornwall
3e étage
Régina (Saskatchewan) S4P 2L1
(306) 359-5989

David G. Green
Ingénieur-conseil principal en hygiène
publique
Direction générale des services médicaux
Santé et Bien-être Canada
Pièce 1170
Édifice Jeanne-Mance
Parc Tunney
Ottawa (Ontario) K1A 0L3
(613) 990-7735

Richard Lawrence
Agent principal, service régional de
l'hygiène du milieu
Région du Yukon
Direction générale des services médicaux
Santé et Bien-être Canada
Yukon Manor
No. 2 Hospital Road
Whitehorse (Yukon) Y1A 3H8
(403) 668-6461

Neils Jacobsen
Boreal Engineering Services Ltd.
312 Jarvis
Whitehorse (Yukon) Y1A 2H2
(403) 667-6327

ANNEXE C

Description sommaire des projets de recherche par ordre de priorité dans chaque domaine

ANNEXE C

Description sommaire des projets de recherche par ordre de priorité dans chaque domaine

Domaine	N° du projet	Description	Classement dans l'ordre de priorité De 0 (aucune) à 10 (élevée)
1.0 Situation actuelle			
	26	Lagunage avec vidange saisonnière: rendement et qualité des effluents	7
	25	Effets des facteurs saisonniers dans les installations à vidange continue	4
	41	Compilation des données sur le coût du lagunage (capital, exploitation et entretien, contrôle)	4
	34	Données sur l'accumulation et l'élimination des boues dans des installations en exploitation	2
	27	Étude des problèmes, des innovations et des résultats obtenus dans des installations de lagunage en exploitation	10
	17	Étude de l'efficacité des revêtements dans des installations de lagunage en exploitation	1
	21	Évaluation des nouvelles méthodes et des nouveaux produits mis au point pour le revêtement et le colmatage	1
	-	Évaluation et analyse des différences entre les critères appliqués dans les provinces pour la conception des installations de lagunage et les charges appliquées	-
2.0 Protection de la santé et de l'environnement			
	62	Détermination des problèmes de santé liés au lagunage	5
2.1 Pollution des eaux souterraines et du sol			
	20	Fuites acceptables par les ouvrages de retenue et par le fond des bassins	3
	63	Élimination des fuites	3

Domaine	N° du projet	Description	Classement dans l'ordre de priorité De 0 (aucune) à 10 (élevée)
2.1	**Contamination des eaux souterraines et du sol** (suite)		
	32	Élimination de l'azote des eaux de lagunage (voir 5.1)	2
2.2	**Évacuation des effluents et des boues**		
	39	Utilisation de terres marécageuses et d'autres milieux aquatiques dans le processus de lagunage (Voir 4.2)	5
	40	Utilisation des étangs et des lacs naturels pour le lagunage (Voir 4.2)	4
	37	Critères pour l'élimination des boues dans les régions arctiques et subarctiques	1
2.3	**Désinfection et élimination des organismes pathogènes**		
	46	Évaluation de la représentativité des organismes indicateurs pour juger de la qualité de l'eau (Voir 3.0)	7
	56	Critères de conception visant l'optimisation de l'élimination des germes pathogènes (Voir 5.1)	6
	57	Étude de la survie et de la réduction des bactéries porteuses du facteur R (Voir 5.1)	4
	29	Réduction des populations d'organismes pathogènes par élimination naturelle (Voir 5.1)	3
	31	Désinfection aux ultra-violets	2
	30	Désinfection à l'ozone	0
2.4	**Odeurs et aérosols**		
	33	Élimination des émanations d'odeurs	7
	48	Influence du dimensionnement des bassins de traitement en anaérobiose sur les émanations d'odeurs	3
	64	Aérosols dans les installations de lagunage aéré	1

Domaine	N° du projet	Description	Classement dans l'ordre de priorité De 0 (aucune) à 10 (élevée)
3.0	**Exploitation, entretien et contrôle du processus**		
	44	Élaboration de normes de contrôle	9
	46	Évaluation de la représentativité des organismes indicateurs pour juger de la qualité de l'eau (Voir 2.3)	7
	45	Élaboration de normes d'exploitation	5
	65	Programme de formation uniformisé	3
	61	Élaboration de méthodes d'analyse statistique adéquates	3
	54	Élaboration d'étalons propres à l'analyse du lagunage (DBO, MST, ODT) (analyse microbiologique)	2
	-	Élaboration de méthodes pratiques pour éliminer la végétation flottante	-
4.0	**Technologie de l'amélioration du lagunage**		
	10	Conversion des bassins de lagunage en installations de traitement à mélange partiel	2
4.1	**Lagunage aéré**		
	8	Utilisation de petits bassins aérés à mélange intégral suivis de bassins d'affinage (Voir 5.4)	2
4.2	**Exploitation des terres et des lacs**		
	39	Utilisation de marécages ou d'autres milieux aquatiques (Voir 2.2)	5
	40	Utilisation des étangs et des lacs naturels (Voir 2.2)	4
4.3	**Facteurs chimiques et physiques**		
	28	Réduction de la teneur des effluents en suspension par des moyens biologiques et chimiques, l'autofloculation, la filtration et le micro-tamisage (Voir 5.1)	1

Domaine	N° du projet	Description	Classement dans l'ordre de priorité De 0 (aucune) à 10 (élevée)
5.0	**Conception et théorie du lagunage**		
5.1	**Biologie**		
	1	Définition des mécanismes de biocinétique mis en jeu dans un bassin de lagunage recouvert de glace	6
	56	Critères de conception pour l'optimisation de l'élimination des organismes pathogènes (Voir 2.3)	6
	57	Étude de la survie et de la réduction des populations de bactéries porteuses du facteur R (Voir 2.3)	4
	29	Réduction des populations d'organismes pathogènes par élimination naturelle (Voir 2.3)	3
	2	Évaluation du rôle des organismes psychrophiles dans le lagunage en rapport avec la charge	3
	43	Effet du rapport entre la teneur en matières solubles et la DBO totale	3
	58	Conception de bassins de traitement anaérobies	3
	32	Élimination de l'azote dans les bassins de lagunage (Voir 6.1)	2
	50	Déphosphoration dans les installations de lagunage	2
	55	Étude limnologique du lagunage mettant l'accent sur les caractéristiques dynamiques	2
	6	Influence du pH (valeurs extrêmes) sur le rendement du lagunage	1
	7	Influence de la présence d'une grande quantité de matières dissoutes sur le rendement du lagunage	1
	28	Réduction de la teneur des effluents en matières en suspension par auto-floculation (Voir 4.3)	1
	-	Influence de la température sur les organismes non bactériens	-

Domaine	Nº du projet	Description	Classement dans l'ordre de priorité De 0 (aucune) à 10 (élevée)
5.2	**Facteurs physiques et mécaniques**		
	3	Élaboration de méthodes rationnelles applicables à la conception des installations de lagunage aéré en milieu facultatif	4
	23	Évaluation de l'efficacité à long terme des aérateurs employés dans les installations de lagunage en exploitation	4
	4	Définition de la relation entre la charge organique et la demande en oxygène dans les bassins de lagunage aéré	1
	51	Autres sources d'énergie exploitables pour l'aération	1
5.3	**Caractéristiques des eaux brutes**		
	53	Influence des rejets des petites entreprises industrielles dans les installations de lagunage municipales	4
	42	Mise au point de sacs hygiéniques biodégradables pouvant se traiter tels quels dans les installations de lagunage	0
5.4	**Aménagement**		
	49	Critères de conception des installations de lagunage temporaires de petite taille	6
	14	Détermination de la géométrie, des dimensions et de la profondeur des bassins se prêtant le mieux au lagunage	5
	5	Détermination de méthodes de conception adaptées au lagunage avec vidange continue en régions froides	4
	52	Optimisation des dimensions des bassins de lagunage	3
	12	Détermination du nombre optimal de bassins dans les installations de lagunage à vidange saisonnière ou continue	3
	9	Utilisation de petits bassins anaérobies suivis de bassins d'affinage	1

Domaine	N° du projet	Description	Classement dans l'ordre de priorité De 0 (aucune) à 10 (élevée)
5.4 Aménagement (suite)			
	8	Utilisation de petits bassins aérés à mélange intégral suivis de bassins d'affinage (Voir 4.1)	1
5.5 Régime hydraulique			
	11	Détermination du temps de séjour réel dans des installations en exploitation, en tenant compte des précipitations, de l'évaporation et des fuites	3
	13	Temps de séjour relatifs dans les installations à bassins multiples	2
	15	Emplacement optimal des dispositifs d'alimentation et de vidange	1
	16	Mise au point de dispositifs à chicanes résistant à l'action des glaces pour obtenir un écoulement piston	1
	59	Techniques peu coûteuses de protection contre l'érosion	1
	18	Critères de conception des dispositifs d'alimentation et d'évacuation permettant d'éliminer les problèmes dus à la glace	0
5.6 Accumulation des boues			
	36	Critères et méthodes s'appliquant à l'élimination des boues	4
	35	Critères pour déterminer le moment de l'enlèvement des boues	3
	38	Solidification des boues *in situ* (moyens chimiques ou biologiques)	1
	60	Analyse critique de la digestion des boues et de son influence sur le rendement du lagunage en milieu facultatif	3
5.7 Modélisation			
	47	Modèle dynamique du lagunage	2

Domaine	N° du projet	Description	Classement dans l'ordre de priorité De 0 (aucune) à 10 (élevée)
6.0 Critères de planification et choix de l'emplacement			
	22	Critères géotechniques pour le choix de l'emplacement en zone de pergélisol	3
7.0 Construction			
	19	Critères applicables aux ouvrages de retenue	1
	24	Mélange des boues avec le sol du fond du bassin durant la construction pour obtenir un colmatage rapide	1

ANNEXE D

Exposés des présentateurs et des animateurs à l'atelier sur le lagunage en régions froides à Winnipeg (Manitoba), 5 au 7 juin 1985

D-1 Les installations de lagunage de la ville de Winnipeg
D-2 Efficacité du lagunage en Alberta
D-3 Description sommaire des modèles employés pour la conception des installations de lagunage
D-4 Critères appliqués à la conception des installations de lagunage
D-5 Principes de la formation des opérateurs

ANNEXE D-1

Les installations de lagunage de la ville de Winnipeg

Préparé par B. MacBride, P. Eng.

1 Expérience

La Ville de Winnipeg exploite une installation de lagunage en milieu facultatif depuis 1964. En outre, on a aménagé et évalué trois installations de lagunage aéré dans le cadre d'un programme expérimental de deux ans.

2 Bassins de lagunage en milieu facultatif - Centre d'épuration des eaux de l'Ouest

2.1 Description

3 bassins de traitement primaire de 18,2 ha	=	54,6 ha
2 bassins de traitement secondaire de 25,3 ha	=	50,6 ha
		105,2 ha

2.2 Capacité

En été, 15,3 Ml/jour avec une charge de 56 kg/ha · jour dans les bassins de traitement primaire.
En hiver, 6,0 Ml/jour avec une période de stockage de 1/2 P + S - 196 jours.
Notons que les installations comprennent aussi une station d'épuration mécanique avec aération prolongée, d'une capacité d'environ 25 Ml/jour.

2.3 Mode d'exploitation

Normalement, les bassins de traitement primaire sont exploités en série, mais lorsque le premier bassin est surchargé, on passe au mode d'exploitation en parallèle.
Les bassins de traitement secondaire sont exploités en parallèle. En automne, on abaisse le niveau de liquide dans tous les bassins pour passer au régime de rétention totale en hiver.
En hiver, l'un des bassins de traitement secondaire sert de bassin de refroidissement pour la station d'épuration mécanique.

2.4 Rendement

	Eaux brutes*	Effluents	Élimination (%)*
MeS (mg/l)	183	39	79
DBO_5 (mg/l)	200	37	82
COT (mg/l)	140	45	68

* Comme les échantillons d'eaux brutes ont été prélevés à la station d'épuration mécanique après tamisage grossier sur tamis Hydrasieve, les eaux envoyées aux bassins de lagunage sont plus concentrées, de sorte que le taux d'élimination est sous-estimé.

2.5 Problèmes

L'érosion est un problème d'exploitation.
Les émanations d'odeurs à la fonte printanière sont un problème politique en raison des plaintes qu'elles suscitent et des pressions exercées par les promoteurs de projets domiciliaires dans le voisinage des installations.

3 Bassins de lagunage aéré expérimentaux

3.1 Description

En 1968 et 1969, on a fait l'essai de trois bassins de lagunage aéré d'une capacité de 2,3 Ml/jour. L'aération a été réalisée de trois façons:

1. Aérateur Air Aqua, temps de séjour de 30 j.
2. Aérateurs mécaniques de surface, temps de séjour de 20 j.
3. Aérateur à pression Air Gun, temps de séjour de 20 j.

3.2 Efficacité

Résultats (moyenne de 21 mois)

Eaux brutes MeS 188 mg/l
DBO_5 175 mg/l

Effluents	DBO_5 (mg/l)	MeS (mg/l)
1. Air Aqua	37	34
2. Aérateur de surface	38	39
3. Air Gun	34	34

Accumulation de boues

De 0,8 à 0,11 kg par habitant/jour

3.3 Problèmes

Formation de glace sur les aérateurs de surface.
Chiffons coincés dans les aérateurs à pression.

3.4 Études de traçage

Air Aqua - 9 minutes après l'addition du colorant, on le retrouve dans les effluents.
- Teneur maximale à T = 9 jours.

Air Gun - Aérateur de surface.
- Teneur maximale à 24 heures.

ANNEXE D-2

Efficacité du lagunage en Alberta

par Environnement Alberta

Le lagunage (traitement des eaux usées en bassin de stabilisation) reste le mode d'épuration des eaux usées le plus répandu en Alberta. Dans cette province, 363 municipalités épuraient leurs eaux d'une façon quelconque en 1984; de ce nombre, près de 300 utilisaient des installations de lagunage. Dans 65 p. 100 de celles-ci, le lagunage se fait en milieu facultatif anaérobie; dans les autres, le traitement est réalisé en milieu facultatif, dans un ou plusieurs bassins. Suivant les normes d'aménagement actuellement en vigueur en Alberta, les installations de lagunage doivent comprendre deux ou quatres bassins anaérobies (s'il y a lieu) et l'installation doit avoir une capacité de rétention de un à deux mois. Environ 60 p. 100 des installations de lagunage présentement en exploitation sont prévues pour un temps de séjour de 12 mois.

De 1978 à 1983, on a évalué la qualité des effluents de lagunage; l'analyse des échantillons prélevés a permis de faire les constatations suivantes:

a) Dans les installations où le temps de séjour est de douze mois, les effluents sont de meilleure qualité que dans celles où le TSH n'est que de six mois.

b) Les effluents des installations vidangées en automne sont de meilleure qualité que ceux des installations vidangées au printemps, quel que soit le temps de séjour.

c) La qualité augmente dans une mesure significative lorsque les effluents sont vidangés en mai plutôt qu'en avril (c'est-à-dire lorsque la vidange a lieu une fois que la glace a fondu et que le brassage des eaux est achevé).

d) Les installations de lagunage qui comportent quatre bassins anaérobies et deux bassins de traitement en milieu facultatif ou plus donnent généralement des effluents de meilleure qualité au moment de la vidange, qu'elle ait lieu au printemps ou à l'automne.

e) Le lagunage donne de meilleurs résultats dans les bassins dont la profondeur est inférieure à 2 m. Il semble que la profondeur du bassin d'emmagasinement en fin de circuit n'ait pas d'influence sur la qualité des effluents dans les installations avec TSH de douze mois.

f) La qualité des effluents s'améliore lorsqu'on élimine le trop-plein en continu d'avril à septembre. Le volume et la charge de substances organiques nutritives des eaux évacuées sont alors plus faibles que lorsque la vidange se fait au printemps.

Ces observations, étayées par les données des tableaux qui suivent, n'ont qu'une valeur indicative car les variables mises en jeu sont nombreuses. Parmi celles-ci, mentionnons les dimensions et la géométrie des bassins, la qualité des eaux brutes, le débit d'alimentation, l'état des installations, la durée de l'échantillonnage, les erreurs d'échantillonnage, les différences de population, la quantité de résultats employés pour déterminer les moyennes et de nombreux autres facteurs pouvant influer sur la qualité des effluents de lagunage.

TABLEAU D-1 QUALITÉ DES EFFLUENTS D'UNE INSTALLATION DE LAGUNAGE À VIDANGE ANNUELLE

Paramètre (mg/l)	1978	1979	1980	1981	1982	1983	Moyenne
			Printemps				
DBO	52	26	23	12	28	32	29
MS	16	35	27	34	49	27	31
DCO	139	157	150	121	94	122	130
ATK	24,0	24,3	18,0	12,2	15,1	13,6	17,8
P-T	9,3	5,5	5,1	2,6	3,1	4,1	4,9
$N\text{-}NH_3$	20,4	14,9	13,7	6,2	12,9	10,6	13,1
Nbre d'analyses	5	3	7	8	10	12	45

Paramètre (mg/l)	1978	1979	1980	1981	1982	1983	Moyenne
			Automne				
DBO	7	10	6	6	9	10	8
MS	24	16	4	29	35	25	22
DCO	65	92	81	12	101	67	70
ATK	7,1	3,7	4,1	1,0	8,5	5,7	5,0
P-T	5,5	2,5	1,1	0,7	3,3	1,9	2,5
$N\text{-}NH_3$	4,6	0,9	0,4	0,28	4,8	2,6	2,3
Nbre d'analyses	9	2	2	2	15	19	49

TABLEAU D-2 QUALITÉ DES EFFLUENTS D'UNE INSTALLATION DE LAGUNAGE À VIDANGE DOUBLE

Paramètre (mg/l)	1978	1979	1980	1981	1982	1983	Moyenne
			Printemps				
DBO	106	31	84	39	50	60	62
MS	30	40	27	28	49	28	34
DCO	195	166	176	146	148	149	163
ATK	25,7	17,4	30	22,2	28,1	23,9	24,5
P-T	9,2	5,1	7,8	7,0	6,6	7,1	7,1
$N\text{-}NH_3$	23,8	11,7	23	17,0	22,0	22,4	20,0
Nbre d'analyses	24	11	14	25	17	26	117

Paramètre (mg/l)	1978	1979	1980	1981	1982	1983	Moyenne
			Automne				
DBO	20	20	15	18	11	15	16
MS	35	23	19	38	35	30	30
DCO	95	153	125	106	80	95	109
ATK	10,4	10,2	14	7,9	8,5	10,7	10,2
P-T	4,6	5,2	4,4	3,5	3,5	3,7	4,1
$N\text{-}NH_3$	5,3	6,1	8,8	4,6	5,6	5,6	6,0
Nbre d'analyses	30	7	10	19	40	47	153

TABLEAU D-3 VIDANGES PRINTANIÈRES EN 1983

Paramètre (mg/l)	Durée d'emmagasinement			
	6 mois		12 mois	
	Avril	Mai	Avril	Mai
DBO	74	38	42	18
MS	27	31	34	16
DCO	163	128	145	85
ATK	25,1	22,2	16,6	8,8
P-T	7,3	6,9	5,4	2,2
$N\text{-}NH_3$	21,9	15,4	13,7	5,6
Nbre d'analyses	16	10	7	5

TABLEAU D-4 QUALITÉ DES EFFLUENTS EN FONCTION DE L'AMÉNAGEMENT DANS DES INSTALLATIONS DE LAGUNAGE À VIDANGE AUTOMNALE ANNUELLE

Aménagement	Qualité des effluents (mg/l)						Nombre total d'échantillons
	DBO	MS	DCO	ATK	P-T	$N\text{-}NH_3$	
1L ou plus	14	55	135	13,4	4,9	8,6	6
2S 1L	16	24	72	4,5	1,3	0,8	3
2S 2L ou plus	8	24	61	6,1	2,1	3,2	13
4S 1L	28	88	156	13,0	4,0	5,5	1
4S 2L ou plus	7	18	71	5,2	2,3	2,7	20

N.B.: "S" : bassin de traitement anaérobie de faible capacité de rétention (de 2 à 5 jours).
"L" : bassin de traitement en milieu facultatif de grande capacité de rétention (365 jours).

TABLEAU D-5 QUALITÉ DES EFFLUENTS EN FONCTION DE L'AMÉNAGEMENT DES INSTALLATIONS DE LAGUNAGE À VIDANGE PRINTANIÈRE ANNUELLE

Aménagement	Qualité des effluents (mg/l)						Nombre total d'échantillons
	DBO	MS	DCO	ATK	P-T	$N\text{-}NH_3$	
1L ou plus	40	49	138	20,3	4,8	13,2	12
2S 1L	-	-	-	-	-	-	-
2S 2L ou plus	31	19	99	10,6	2,9	8,2	4
4S 1L	-	-	-	-	-	-	-
4S 2L ou plus	18	26	114	13,7	3,8	9,8	26

N.B.: "S" : bassin de traitement anaérobie de faible capacité de rétention (de 2 à 5 jours).
"L" : bassin de traitement en milieu facultatif de grande capacité de rétention (365 jours).

TABLEAU D-6 QUALITÉ DES EFFLUENTS EN FONCTION DE L'AMÉNAGEMENT DES INSTALLATIONS DE LAGUNAGE À VIDANGE AUTOMNALE DOUBLE

Aménagement	Qualité des effluents (mg/l)						Nombre total d'échantillons
	DBO	MS	DCO	ATK	P-T	$N\text{-}NH_3$	
1L ou plus	22	39	135	11,9	4,4	6,9	25
2S 1L	29	70	150	13,0	5,6	7,1	16
2S 2L ou plus	19	39	105	13,3	4,1	6,9	24
4S 1L	34	34	117	11,8	3,9	7,8	6
4S 2L ou plus	9	23	78	7,3	3,3	4,3	80

N.B.: "S" : bassin de traitement anaérobie de faible capacité de rétention (de 2 à 5 jours).
"L" : bassin de traitement en milieu facultatif de grande capacité de rétention (365 jours).

TABLEAU D-7 QUALITÉ DES EFFLUENTS EN FONCTION DE L'AMÉNAGEMENT DANS DES INSTALLATIONS DE LAGUNAGE À VIDANGE PRINTANIÈRE DOUBLE

Aménagement	Qualité des effluents (mg/l)						Nombre total d'échantillons
	DBO	MS	DCO	ATK	P-T	$N\text{-}NH_3$	
1L ou plus	54	41	162	21,9	5,2	18,4	16
2S 1L	56	28	163	20,8	5,4	17,7	12
2S 2L ou plus	78	43	182	24,4	6,0	19,5	25
4S 1L	63	36	151	22,6	5,3	18,0	5
4S 2L ou plus	52	27	147	25,3	7,2	20,2	58

N.B. : "S" : bassin de traitement anaérobie à court TSH (de 2 à 5 jours).
"L": bassin de traitement en milieu facultatif à TSH prolongé (365 jours).

TABLEAU D-8 AMÉNAGEMENT ACCEPTABLE DES BASSINS DE STABILISATION

Débit quotidien moyen prévu (m^3)	Bassins de traitement anaérobie	Bassins de traitement aérobie	Bassin d'emmagasinement
Moins de 270	0	TSH minimum de 60 jours avec profondeur de traitement maximale de 1,5 m	Capacité minimale d'emmagasinement de 1 an avec profondeur maximale de 2,5 m
270 - 400	Deux bassins en série; profondeur de traitement de 3,0 à 3,6 m et TSH de 2 à 5 jours	Oui	Profondeur maximale: 2,5 m
Plus de 400	Quatre bassins en série; profondeur de traitement de 3,0 à 3,6 m et TSH de 2 à 5 jours	Oui	Profondeur maximale: 2,5 m

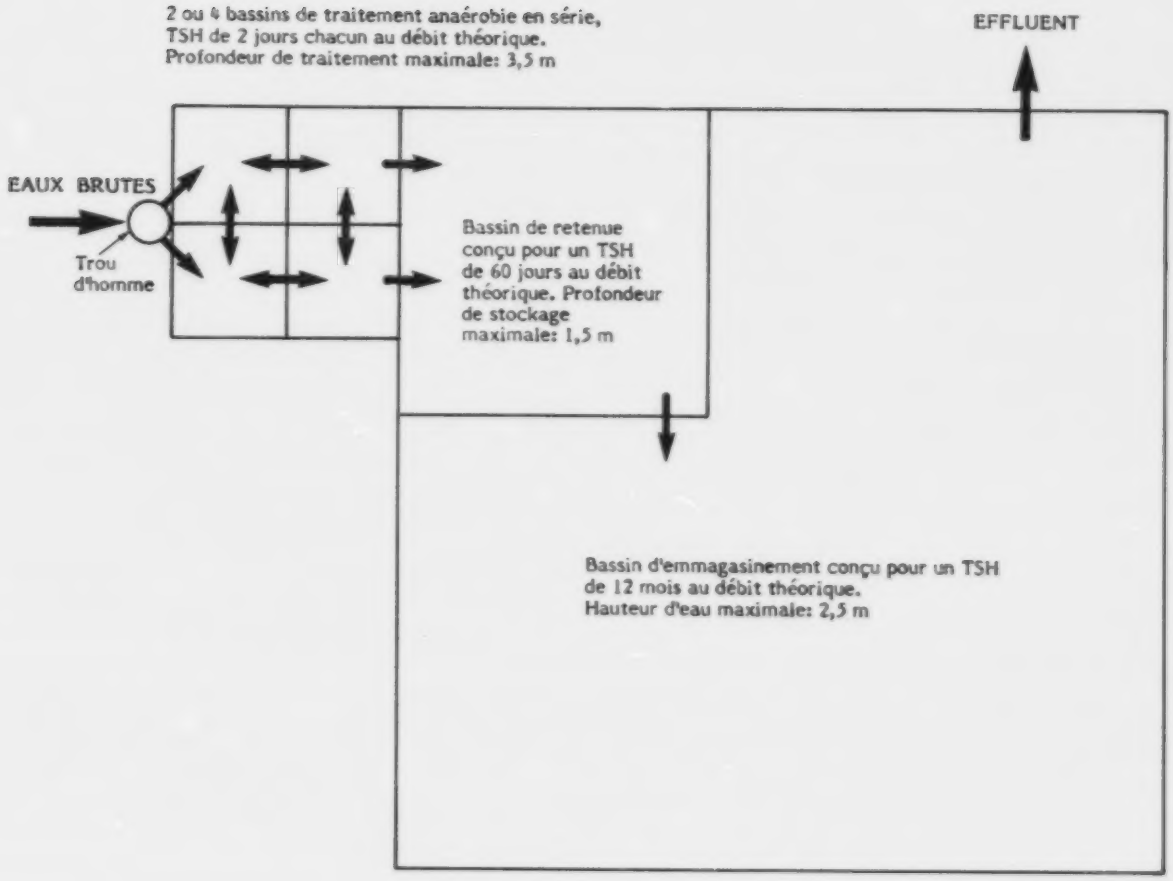


FIGURE D-1 STABILISATION DES EAUX BRUTES DANS UNE INSTALLATION TYPE

ANNEXE D-3

Description sommaire des modèles employés dans la conception des installations de lagunage

Préparée par le Dr D. Thirumurthi,
Professeur de génie civil
Université technique de la Nouvelle-Écosse
Halifax (Nouvelle-Écosse)

1. Modèle du réacteur à mélange intégral

Selon Marais et Shaw, le concepteur peut voir l'installation de lagunage comme un réacteur à mélange intégral ou comme une série de réacteurs.
Toutefois, on ne peut pas vraiment parler de mélange intégral lorsqu'il s'agit de lagunage car on a alors affaire à un régime d'écoulement piston dispersé. L'équation formulée ci-après est donc d'une application limitée.

Formule de conception

$$\frac{C_n}{C_o} = \frac{(1)^n}{(1 + kT_n)}$$

où C_o = DBO (mg/l) des eaux brutes
C_n = DBO (mg/l) des effluents du $n^{ième}$ bassin de la série
k = vitesse de réaction de premier ordre à la température de lagunage minimum
n = nombre de bassins de la série
$k = k_{35}\,(1{,}085)^{T-35}$ où k_{35} = vitesse de réaction à 35 °C = 1,20/jour
T = température minimum des eaux de lagunage (°C)

Référence: Marais (1966) et Marais et Shaw (1961).

2. Équation de Dissana Yake

Il faudrait vérifier dans des installations en exploitation si les formules présentées ci-après peuvent s'appliquer au lagunage en régions froides.

Formule de conception

$$\text{Exp}(K_b) = 0{,}7716\,(1{,}0281)^T\,(1{,}0016)^C\,(0{,}999)^L$$

$$K_b = K_{20}\,(1{,}19)^{T-20}$$

$$N_e = \frac{N_i}{1 + K_b t}$$

où C = teneur moyenne en algues dans le bassin (mg/l)

K_b = constante de vitesse de premier ordre de l'élimination des coliformes fécaux à la température des eaux de lagunage (en j^{-1})
K_{20} = constante de vitesse de premier ordre de l'élimination des coliformes fécaux à 20 °C (en j^{-1})
L = charge organique des eaux de lagunage (DCO en kg/ha · jour)
N_e = nombre de coliformes fécaux dans les effluents de lagunage (par 100 ml)
N_i = nombre de coliformes fécaux dans les eaux brutes (par 100 ml)
t = temps de rétention hydraulique moyen (jours)
T = température des eaux de lagunage (°C)

Référence: Dissana Yake (1980) et Marais (1974).

3. Méthode de Gloyna

Il s'agit d'une méthode semi-empirique mise au point par l'étude de modèles en laboratoire. Profondeur du liquide = 1 m en conditions idéales (climat tropical ou sub-tropical, faible teneur en matières décantables). Profondeur du liquide = 1,5 m lorsque les variations de température saisonnières sont marquées. Profondeur du liquide = 1,5 à 2 m en climat rigoureux (froid).

Formule de conception

$A = 0{,}35\ Q\ L_o\ (\theta)^{35-T}\ f^i\ f$ (1) (hauteur du liquide: 1 m)

$\frac{V}{Q} = t = 0{,}035\ L_a\ (\theta)^{35-T}\ f^i\ f$ (2) (hauteur du liquide: de 1 à 2 m; voir les commentaires)

où A = superficie du bassin (m^2)
f = facteur de toxicité due aux algues (en général, 1,0 dans le cas d'eaux usées municipales)
f^i = facteur de demande en sulfures (1,0 lorsque la teneur en sulfates est inf. à 500 mg/l)
L_a = DBO ou DCO (mg/l) finale des eaux brutes
L_o = DBO (mg/l) finale des eaux brutes
Q = débit des eaux brutes (m^3/jour)
T = température des eaux de lagunage (température mensuelle moyenne (°C) durant les mois les plus froids)
t = temps de séjour hydraulique (jours)
θ = coefficient de correction de la température = 1,085
V = volume (m^3) de liquide dans le bassin

Référence: Gloyna (1976).

4. Méthode indienne

Il s'agit d'une méthode empirique inspirée de l'expérience acquise en Inde en 1970. (Cette formule ou sa version modifiée pourrait avoir des applications dans le Grand Nord canadien).

Formule de conception

$L_{des} = 375 - 6{,}25\ l$

où L_{des} = charge organique théorique (DBO en kg/ha · jour)
L = latitude (variation en Inde: de 8° à 36 °N)

5. Méthode de McGarry et Pescod

Après avoir étudié 134 bassins de traitement primaire en milieu facultatif, ces auteurs ont formulé de façon empirique la relation présentée ci-après.

Formule de conception

$L_r = 9{,}23 + 0{,}758\ L_a$ (1)

où L_a = DBO (kg/ha · jour) appliquée
L_r = réduction de la DBO (kg/ha · jour) (d'après l'analyse des eaux brutes non filtrées et des effluents filtrés de 134 installations de diverses parties du monde)

Référence: McGarry et Pescod (1970) et McGarry (1982).

6. Méthode de McGarry et Pescod

Modèle empirique élaboré en fonction de données recueillies dans 143 installations en exploitation.

Formule de conception

$L_{max} = 11{,}2\ (1{,}054)^T$
$L_{des} = 7{,}5\ (1{,}054)^T$

où L_{max} = DBO (kg/ha · jour) maximale (surface) qu'on peut appliquer sans diminution du rendement (c.-à-d. sans que le milieu ne devienne complètement anaérobie)
L_{des} = charge théorique ou DBO admissible (kg/ha · jour)
T = température mensuelle moyenne de l'air ambiant (°C)

Référence: Mara (1976).

7. Méthode des régressions multiples non linéaires

On a supposé que le coefficient d'élimination de la DBO était une fonction du temps de séjour moyen, de la DBO volumique et de la température moyenne du liquide. On en a estimé la valeur en réalisant une analyse de régression des données recueillies par l'étude de modèles de laboratoire. Cette méthode pourrait avoir des applications intéressantes, avec ou sans modifications, dans le cas du lagunage en régions froides.

Formule de conception

$$K = t°(-1/(1,391 + 1,304/T) + (0,061 + 0,5T/L))/(0,327 + 10,277/T + 1/(L(0,25 + 0,476/T)))$$

où K = coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO (L/jour)
L = charge organique volumique (DBO) ($g/m^3 \cdot$ jour)
t = temps de séjour moyen (jours)
T = température moyenne des eaux de lagunage (°C)

La valeur de K (déterminée d'après des modèles de laboratoire) s'applique à une plage étendue de t (de 4 à 100 jours), de L (de 1 à 25 $g/m^3 \cdot$ jour) et de T (de 2° à 40 °C).

Référence: Uhlmann et coll. (1983) et Uhlmann (1979).

8. Modèle d'écoulement piston

Ce modèle est d'un emploi simple, mais il ne permet pas de tenir compte de l'apport d'énergie solaire.

Formule de conception

$$\frac{C_e}{C_i} = e^{-kt} \text{ où } k = k_{20}\,(1,09)^{T-20}$$

où C_e = DBO (mg/l) des effluents
C_i = DBO (mg/l) des eaux brutes
k = vitesse de réaction ($jour^{-1}$) en écoulement piston à la température des eaux de lagunage
k_{20} = vitesse de réaction ($jour^{-1}$) en écoulement piston à la température standard (20 °C)
t = temps de séjour hydraulique (jours)
T = température de lagunage minimum

La valeur de k varie en fonction de la DBO des eaux brutes dans les proportions suivantes:

Apport de DBO (kg/ha · jour)	Valeur de k ($jour^{-1}$) à 20 °C
22	0,045
45	0,071
67	0,083
90	0,096
112	0,129

Référence: Neel et coll. (1961) et Middlebrooks et coll. (1982).

9. Méthode de Thirumurthi (Modèle d'approximation de l'écoulement piston)

Pour mettre cette méthode au point, on a analysé les données recueillies sur des modèles de laboratoire et sur des installations de lagunage en exploitation au

Missouri, au Wisconsin, en Ontario et en Israël. Dans la plupart des applications pratiques, la formule de l'écoulement piston est appropriée. Il faudrait modifier la relation entre K et K_s en fonction des dernières données publiées et des résultats qu'apporterait l'étude approfondie de modèles physiques.

$$\frac{C_e}{C_l} = e^{-Kt}$$

où $K = K_s \cdot C_{Te} \cdot C_{Tox} \cdot C_o$

C_{Tox} = habituellement 1,0 dans le cas des eaux usées municipales

$C_{Te} = (1{,}036)^{T-20}$

$$C_o = \frac{1 - 0{,}083 \log_{10} \frac{(60)}{(L)}}{K_s}$$

C_e = DBO (mg/l) des effluents
C_i = DBO (mg/l) des eaux brutes
C_o = facteur de correction de la charge organique
C_{Te} = facteur de correction de la température du liquide
C_{Tox} = facteur de correction pour tenir compte des rejets industriels toxiques
K = coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO en conditions réelles (en j^{-1})
K_s = coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO en conditions standard (en j^{-1})
L = charge organique par unité de superficie (DBO en lb/acre · jour)
t = temps de séjour moyen (jours)
T = température moyenne du contenu du bassin durant les mois les plus froids de l'hiver (°C).

Référence: Thirumurthi (1969, 1974).

10. Méthode de Thirumurthi inspirée de l'équation de Wehner & Wilhelm (Modèle de l'écoulement piston dispersé)

$$\frac{C_e}{C_i} = \frac{4a\, e^{1/2d}}{(1+a)^2\, e^{a/2d} - (1-a)^2\, e^{-a/2d}}$$

où $a = (1 + 4Ktd)^{0,5}$
d = valeur de dispersion (les valeurs proposées varient de 0 à 0,5)

(Tous les autres symboles ont déjà été définis ci-dessus).

ANNEXE D-4

Critères appliqués dans la conception des installations de lagunage

---

Ce document est la version revue d'un article intitulé "Design Criteria for Waste Stabilization Ponds" que le Dr D. Thirumurthi, du Dép. de génie civil de l'Université technique de la Nouvelle-Écosse, a préparé en 1974 pour le *Journal of the Water Pollution Control Federation* (Vol. 46 (9), p. 2094-2106).

Le Dr Thirumurthi définit le bassin de lagunage comme un réacteur biologique réglé par une cinétique d'élimination de premier ordre de la demande biochimique en oxygène; il recommande une série d'équations pour en faire la conception de façon rationnelle. Pour déterminer les paramètres de conception, il a appliqué les principes théoriques et des données recueillies par des études en laboratoire et en conditions réelles.

Le coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO (K) est le principal paramètre de conception. Plusieurs facteurs environnementaux, de même que les conditions dans lesquelles le traitement est effectué, influent sur l'efficacité du lagunage et, dès lors, sur la valeur de ce coefficient. Parmi les facteurs considérés, mentionnons la température, la charge organique, l'action solaire, la proportion des rejets industriels toxiques, la forme du bassin, le brassage et la charge benthique.

Pour déterminer la valeur de référence du coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO (K_S) on suppose un ensemble de conditions. Le milieu standard se définit comme suit:

a) Température des eaux de lagunage: 20 °C
b) Charge organique: 60 lb/jour · acre (67,2 kg/ha · jour)
c) Absence de produits toxiques d'origine industrielle
d) Apport d'énergie solaire visible minimum de 100 langleys/jour
e) Charge benthique nulle.

Le coefficient d'élimination de la DBO (K) employé en conception représente le milieu de lagunage naturel. Le concepteur choisit celle des trois formules ci-après qui s'applique.

Formule exacte de l'écoulement piston dispersé

$$\frac{C_e}{C_i} = \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}} \qquad (1)$$

Formule modifiée:

$$\frac{C_e}{C_i} = \frac{4ae^{1-a/2d}}{(1+a)^2} \qquad (2)$$

Formule d'approximation de l'écoulement piston:

$$\frac{C_e}{C_i} = e^{-Kt} \qquad (3)$$

où C_e = DBO des effluents (mg/l)
C_i = DBO des eaux brutes (mg/l)
K = coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO (jour^{-1}) à la température de l'eau de lagunage
t = temps de séjour moyen (jours)
a = $(1 + 4 Ktd)^{1/2}$
d = $\frac{D}{UL} = \frac{Dt}{L^2}$
d = valeur de dispersion (sans unités)
D = coefficient de dispersion axiale (pi^2/h et m^2/h)
U = vitesse du liquide (pi/h et m/h)
L = distance séparant l'arrivée des eaux brutes et le point de rejet des effluents (pi et m).

L'équation 1, formulée par Wehner et Wilhelm (1956) pour représenter des réacteurs chimiques à cinétique de premier ordre, s'est avérée applicable au traitement biologique des eaux usées.

La valeur de dispersion (constante de diffusion) détermine le mode d'écoulement des eaux. Lorsqu'elle est nulle il y a écoulement piston et lorsqu'elle est infinie il y a mélange intégral. Les valeurs intermédiaires correspondent à un écoulement à mélange partiel.

En 1969, le D^r Thirumurthi a mis au point un schéma de conception pour faciliter l'application de l'équation de Wehner et Wilhelm. Ce schéma peut servir à la conception d'installations d'épuration à écoulement piston idéal (lits bactériens), à écoulement avec mélange intégral (bassins de lagunage aéré aérobie) et à écoulements de type intermédiaire (bassins de lagunage en milieu facultatif conventionnels et aérés). L'évaluation des facteurs K et d est l'élément capital de cette technique de conception. On peut estimer la valeur de d par des études au traceur en laboratoire et en conditions réelles.

Si l'une ou l'autre des cinq conditions standard définies précédemment s'avère différente en conditions réelles, il faut appliquer des facteurs de correction.

$$K = K_S C_{Te} C_O C_{Tox} C_{vse} \qquad (4)$$

où K = coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO en conditions réelles (en j^{-1})
K_S = coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO en conditions standard (en j^{-1})
C_{Te} = facteur de correction de la température
C_O = facteur de correction de la charge organique
C_{Tox} = facteur de correction appliqué aux eaux brutes contenant des produits chimiques toxiques d'origine industrielle
C_{vse} = facteur de correction pour l'apport de rayonnement visible.

Facteur de correction de la température (C_{Te})

On propose le facteur de correction suivant (1):

$$C_{Te} = \theta T\text{-}2D \qquad (5)$$

où T = température moyenne des eaux de lagunage durant les mois critiques ou au plus froid de l'hiver (°C)
θ = coefficient de température

Le coefficient de température n'est pas une constante; il faut en déterminer la valeur à la température moyenne T. On peut le déterminer en laboratoire en recréant dans des bassins de lagunage expérimentaux les mêmes conditions que dans l'installation, sauf que les eaux sont à différentes températures. Les données ainsi recueillies servent à calculer le coefficient d'élimination de la DBO (K) qui s'applique à chaque bassin de lagunage; ces valeurs servent ensuite à tracer sur papier semi-logarithmique une courbe en fonction de la température. On ajuste ensuite une droite par la méthode des moindres carrés et ainsi, l'équation est définie.

$$K = K_{20}\,(\theta)^{T-20} \qquad (6)$$

Pour connaître le coefficient de température (θ), on calcule la pente de la droite. À la température standard (20 °C), elle se situe entre 1,030 et 1,055. Le Dr Thirumurthi se sert d'un coefficient de 1,036.

On peut utiliser une autre méthode par essais et erreurs: on suppose des valeurs de θ, par exemple, de 1,01 à 1,085, puis on détermine les valeurs de K correspondantes aux différentes températures des bassins expérimentaux et on les compare aux valeurs réelles déterminées par les études en laboratoire. On trace ensuite la courbe des écarts types des différences entre les valeurs théoriques et les valeurs réelles en fonction de θ. Le plus petit écart type de la courbe correspond à la valeur réelle de θ.

Les résultats qu'on a obtenus avec ces méthodes sont illustrés aux figures D-2 et D-3; les courbes ont été tracées d'après les données que Suwannakarn a recueillies au Texas avec une température standard des eaux de lagunage de 35 °C.

Facteur de correction de la charge organique (C_o). Le coefficient d'élimination de la DBO (K) diminue généralement lorsque la charge organique baisse. En d'autres mots, si la DBO des eaux brutes est constante, l'efficacité du lagunage n'augmente pas dans une mesure significative lorsque la charge organique diminue. Le gain en rendement est souvent moins rapide lorsqu'on prolonge le temps de séjour ou qu'on réduit inutilement la charge organique.

Le Dr Thirumurthi (2) a proposé une équation pour déterminer la corrélation entre la charge organique L et le coefficient d'élimination de la DBO (K); il s'est inspiré des données que Neel et coll. (7) ont publiées au sujet d'une installation à écoulement non idéal située à Fayette (Missouri).

$$C_o = 1 - \frac{0{,}083}{K_s} \log_{10} \frac{60}{L_1} \qquad (7)$$

où L_1 = charge organique en lb/acre/jour (valeur proposée ou prévue)
60 = charge organique standard en lb/acre · jour (67,2 kg/ha · jour).

correspondant à la valeur standard K_s.

K_s s'est avéré applicable partout, aussi bien dans des installations de l'Ontario, d'Israël (Herzliya) et du Missouri (Fayette) ainsi que dans trois villes du Wisconsin.

Facteur de correction de la toxicité (C_{Tox}). Lorsque les eaux brutes ne contiennent pas de rejets industriels, le facteur C_{Tox} vaut 1. Des travaux de laboratoire réalisés à l'Université du Texas (3, 4) ont montré qu'en présence de certains composés organiques d'origine industrielle, les algues vertes ne peuvent synthétiser de pigment chlorophyllien. Sans chlorophylle, la photosynthèse ne peut se poursuivre et, dès lors, la production d'oxygène cesse. Il s'ensuit une baisse de la teneur en oxygène dissous (OD) dans les eaux

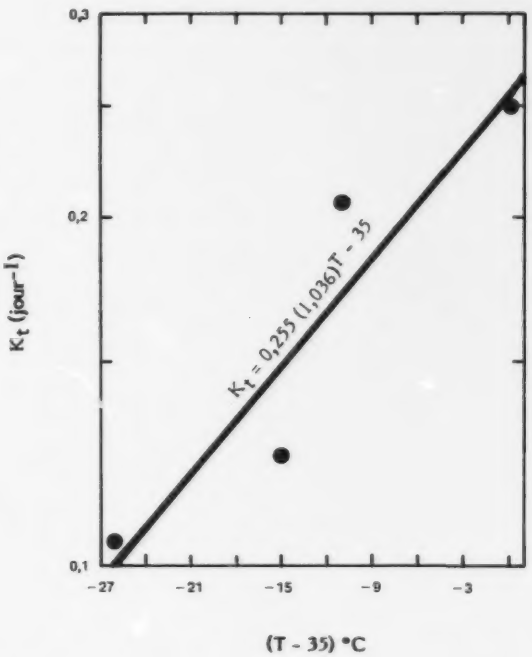


FIGURE D-2. - Coefficient d'élimination de premier ordre de la demande biochimique en oxygène (K_t), en fonction de la température.

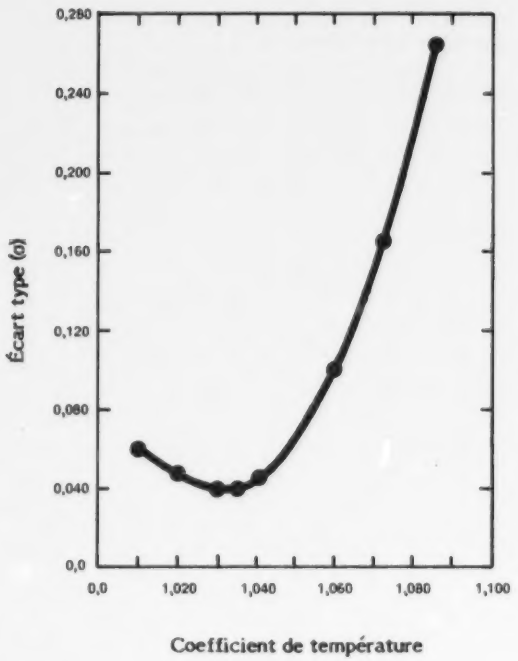


FIGURE D-3. - Écart type de différentes valeurs de R présumées.

de lagunage, ce qui donne lieu à une diminution marquée de l'élimination de la DBO. Comme le lagunage est moins efficace dans les installations conçues pour le traitement des déchets industriels toxiques, il faut déterminer les valeurs du facteur C_{Tox} en laboratoire ou se servir des résultats des expériences en conditions réelles réalisées antérieurement.

Énergie solaire (rayonnement visible). Presque partout dans le monde, l'apport d'énergie solaire n'est pas un facteur limitant de la photosynthèse. Des travaux réalisés sur la question à l'Université technique de la Nouvelle-Écosse (5) ont montré que l'énergie solaire est un facteur limitant en ce qui concerne la teneur des effluents en oxygène dissous, en particulier lorsque les bassins de lagunage sont recouverts de glace en hiver dans les régions du Nord. La glace et la neige limitent de façon marquée la quantité d'énergie lumineuse qui atteint les eaux de lagunage. Selon Mackenthum et McNabb (6), dans un bassin de lagunage couvert d'une couche de neige de 1,5 po (3,8 cm) superposée à une couche de glace de 15 po (38 cm), le rayonnement incident est réduit de 90 p. 100.

Neel et coll. (7) ont réalisé en conditions réelles une étude scientifique très poussée; ils ont étudié cinq bassins de lagunage identiques et un autre plus grand. Après avoir mesuré l'élimination de la DBO et la teneur en OD, ils en ont tracé la courbe en fonction de la quantité de rayonnement visible: ils ont pu montrer de façon concluante que la teneur en OD baisse en hiver lorsque le rayonnement visible diminue, mais que l'élimination de la DBO ne diminue pas de la même façon.

Il y a un point critique (A) en deçà duquel l'apport énergétique ne peut baisser sans qu'une diminution de l'oxygénation photosynthétique des eaux de lagunage (ou de la teneur en OD dans les effluents) ne soit prévisible.

L'apport critique A, qui correspond à la teneur en oxygène dissous jugée souhaitable, peut être déterminé au moyen des valeurs que proposent Neel et coll.; selon ces chercheurs, "si la glace est un facteur négligeable, il semble qu'un minimum de rayonnement solaire mensuel représentant une moyenne d'environ 150 ou 160 langleys/jour (considérant l'ensemble du spectre) devrait fournir suffisamment d'énergie lumineuse pour entretenir l'oxygénation d'un bassin où la DBO peut atteindre 100 lb/jour · acre (1120 kg/jour · ha). Ceci laisse supposer qu'il faudrait un minimum de 1,5 langleys par jour par unité de DBO".

En conditions standard, on prévoit une charge organique de 60 lb/jour · acre (67,2 kg/jour · ha). Il faut donc au minimum un apport d'énergie solaire total de 90 langleys/jour, ou approximativement 25 langleys de rayonnement visible par jour. L'apport critique A est alors de 25 langleys/jour. Si on exprime cette valeur comme Neel et coll. le proposent, il faut environ 0,4 langleys (rayonnement visible) pour satisfaire à la demande de chaque livre de DBO/acre.

Il y a un autre point critique (B) en deçà duquel l'apport énergétique ne peut descendre sans qu'une élimination moins efficace de la DBO ne soit prévisible. À l'U.T.N.-É. (5), on a réalisé des études comparées en laboratoire au moyen de modèles de bassin de profondeurs différentes qu'on a exposés à diverses quantités de rayonnement visible: on a pu démontrer clairement que la teneur en oxygène dissous (mesurée à midi) baisse de façon significative à mesure que le rayonnement incident diminue. L'étude a également révélé que dans les bassins les plus profonds, l'élimination de la DBO est moindre lorsque le rayonnement visible ne suffit pas à entretenir le degré de photosynthèse nécessaire.

Ces travaux ont abouti à la proposition d'un apport critique B; il reste à le vérifier en conditions réelles. Dans les bassins de faible profondeur (moins de 3 pi (91,5 cm)), un apport énergétique (spectre visible) d'environ 0,1 langley/lb de charge organique/acre (0,54 langley/kg · ha) pourrait suffir. Cependant, dans les bassins plus profonds (plus de 3 pi (91,5 cm) environ), un apport d'au moins 0,2 langleys/lb de charge organique/acre (1,09 langley/kg · ha) peut être nécessaire. En d'autres mots, en conditions standard, il faut de 6 à 12 langleys/50 lb de charge organique/acre (de 0,65 à 1,3 langley/kg · ha) pour rester au-delà du point critique B.

Lorsqu'on ne dispose d'aucune mesure réelle, il faut appliquer un facteur de sécurité aux résultats obtenus en laboratoire, car les milieux artificiels sont plus propices et se contrôlent mieux que le milieu réel.

Évaluation du coefficient K_S. Pour évaluer le coefficient K_S, on s'est servi des données fournies dans trois articles (6, 8, 9) et des renseignements recueillis sur l'étang de stabilisation de New Hamburg en Ontario (9), avec les hypothèses suivantes:

1. Il y avait écoulement piston dans tous les bassins étudiés, car les chercheurs n'ont pas fait d'études au traceur.

2. Dans tous les bassins étudiés, il n'y avait aucun rejet industriel toxique inhibant la croissance des algues, sinon en quantités négligeables.

3. On n'a tenu aucun compte de la profondeur des bassins et de la charge benthique, car il n'existait pas d'analyse critique de leurs effets et des facteurs de correction à appliquer, de sorte qu'on ne pouvait déterminer leur influence sur le rendement épuratoire.

En se servant des données recueillies en conditions réelles, on a calculé la valeur moyenne du coefficient K_s ($jour^{-1}$) à 20 °C, pour une charge organique de 60 lb/acre · jour, connaissant la température moyenne des eaux de lagunage, le rapport des DBO (eaux brutes/effluents), la charge organique superficielle, le débit des eaux brutes, le temps de séjour et le rayonnement visible. (On a appliqué les facteurs de conversion suivants: lb/acre · jour x 0,112 = g/jour · m^2; gal/jour x 0,004545 = m^3/jour; gal/jour · acre x 0,00935 = m^3/jour · ha; po x 2,54 = cm).

La valeur moyenne du coefficient K_s de tous les bassins étudiés est de 0,056/jour; les deux extrêmes valent 0,042 et 0,071/jour. Le coefficient K déterminé en conditions réelles variait entre 0,0017/jour et 0,0128/jour (Herzliya, Israël, 27 °C) (New Hamburg, Ontario, en juin, à 21 °C).

La valeur du coefficient K_s aurait moins fluctué si l'on avait tenu compte de la DBO_5 moyenne des eaux brutes et des effluents de chaque bassin. Considérées individuellement, les valeurs de ce coefficient ont moins de signification car les caractéristiques des eaux brutes de chacun des bassins variaient beaucoup d'un jour à l'autre. La DBO des effluents d'un jour donné correspondait en réalité à la qualité des eaux brutes arrivées depuis à peu près le même nombre de jours que le temps de rétention.

Le Dr Thirumurthi a insisté sur les points suivants:

1. Les installations de lagunage doivent être conçues en fonction des lieux où elles doivent être aménagées.

2. Comme le coefficient d'élimination de premier ordre de la DBO (K) est l'élément-clé de la conception, il faut le déterminer pour chaque bassin.

3. Le coefficient standard (K_s) retenu est une constante lorsque les installations servent à traiter des eaux usées domestiques. On estime la valeur de K en corrigeant celle de K_s en fonction de la température, de la charge organique, des rejets industriels toxiques et du rayonnement incident.

4. On propose deux niveaux de rayonnement visible critiques, A et B. Lorsque l'apport est inférieur à A, la teneur en oxygène dissous des effluents baisse dans une mesure significative. Lorsque l'apport descend sous B, on peut s'attendre à ce que l'élimination de la DBO soit beaucoup moins efficace.

BIBLIOGRAPHIE

1. Suwannakarn, V., "Temperature Effects on Waste Stabilization Pond Treatment". Thèse de doctorat, University of Texas, Austin (1963).

2. Thirumurthi, D., "Design Principles of Waste Stabilization Ponds". *Jour. San. Eng. Div., Proc. Amer. Soc. Civil Engr., 95*: SA2, 311 (1969).

3. Thirumurthi, D., "Relative Toxicity of Organics to *Chlorella pyrenoidosa*". Thèse de doctorat, University of Texas, Austin (1966).

4. Gloyna, E.F. et D. Thirumurthi, "Suppression of Photosynthesis Oxygenation". *Water & Sew. Works, 144, 3*: 83 (1967).

5. Klaamas, P., "Design of Waste Stabilization Ponds". Mémoire, Collège technique de la Nouvelle-Écosse, Halifax (Canada) (1968).

6. Mackenthum, K.M., et B.D. McNabb, "Stabilization Pond Studies in Wisconsin". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, *22*: 1234 (1961).

7. Neel, J.K. et coll., "Experimental Lagooning of Raw Sewage, Fayette, Missouri, Experimental Stabilization Ponds, 1957-58". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, *33*: 603 (1961).

8. Meron, A. et coll., "Quality Changes as a Function of Detention Time in Wastewater Stabilization Ponds". *Jour. Water Poll. Control Fed.*, *39*, *12*: 1657 (1967).

9. *Annual Report*, Town of New Hamburg, Ontario, Canada, (1966).

ANNEXE D-5

Principes de la formation des opérateurs

par Yves Dubuc, P. Eng.
Gouvernement régional de Kativik

Formation de base. Au Québec, pour devenir opérateur d'une installation d'épuration il faut suivre un cours spécialisé de 3 ans au CEGEP ou s'inscrire dans un établissement qui donne le cours requis de 1200 heures sur les eaux usées et leur traitement.

Dans la plupart des zones de pergélisol, les autochtones s'occupent eux-mêmes de l'exploitation des installations de lagunage et il leur est difficile de remplir les conditions mentionnées ci-dessus. Il est donc plus logique d'adapter le cours pour eux que de faire venir un opérateur non autochtone.

Formation en groupe. Dans le Nord du Québec, les municipalités sont en contact les unes avec les autres et les organismes qui travaillent dans ce territoire essaient dans la mesure du possible de développer l'esprit de solidarité entre les populations. Par exemple, le service d'éducation permanente de la Commission scolaire de Kativik (CSK) a été ouvert dans une municipalité centrale et offre à la population de treize autres villes des cours techniques spécialisés. Des gens de différentes villes et de différents milieux se trouvent ainsi réunis, ce qui leur permet de se connaître et de créer des liens. Ces contacts peuvent leur être utiles plus tard, car ainsi, ils trouveront facilement quelqu'un à consulter au sujet de problèmes en rapport avec le travail.

D'un point de vue général, il est bon de favoriser le rapprochement des opérateurs d'une même région dans le Nord, car ils seront d'autant plus motivés et consciencieux sur le plan professionnel. Pour certains, ces considérations peuvent paraître dénuées d'intérêt. Or, l'expérience que j'ai acquise dans la formation, tant chez les Inuits que dans d'autres milieux, m'a permis de constater que même le meilleur stagiaire ne peut donner son plein rendement s'il se sent professionnellement isolé. Pour des raisons évidentes, c'est tout particulièrement le cas des opérateurs d'installations d'épuration.

La langue. La formation doit se donner dans la langue maternelle des stagiaires. Il faut donc qu'un interprète assiste aux cours et, évidemment, qu'il se prépare d'avance pour être en mesure de traduire tous les termes techniques ou inusités. Cette préparation permettra aussi à l'enseignant d'évaluer son cours.

Matériel pédagogique. Les notes de cours, les manuels, les examens, etc. doivent être présentés dans la langue maternelle des stagiaires et comporter autant d'illustrations que possible. L'emploi de techniques visuelles est toujours indiqué dans les cours de formation technique.

Le lieu. À en juger par les expériences antérieures, il vaut mieux que le cours se donne dans la région où habitent les stagiaires. Pour la plupart des gens, il est difficile de rester longtemps éloigné de chez soi et de sa famille; si en plus ils se retrouvent dans un milieu qui ne leur est pas familier, ils perdront vite intérêt et demanderont à rentrer chez eux.

S'il y a une station d'épuration sur les lieux du cours, c'est encore mieux. C'est le cas à Salluit, une ville du Nord du Québec.

N.B.: La partie suivante est inspirée de la Directive nº 006 d'Environnement Québec (Formation des opérateurs - Opération des équipements d'aqueduc et d'égout).

Programme. Le programme dispensé doit avoir trait aux processus, aux ouvrages et à l'équipement dont l'opérateur devra s'occuper. Après les cours de base, la formation doit se poursuivre par un programme qui comprendra tous les cours nécessaires pour l'exploitation du genre d'installation où le stagiaire ira travailler. On énumère ci-après tous les cours ayant trait au traitement des eaux usées en bassin d'oxydation, ainsi que les divers programmes offerts.

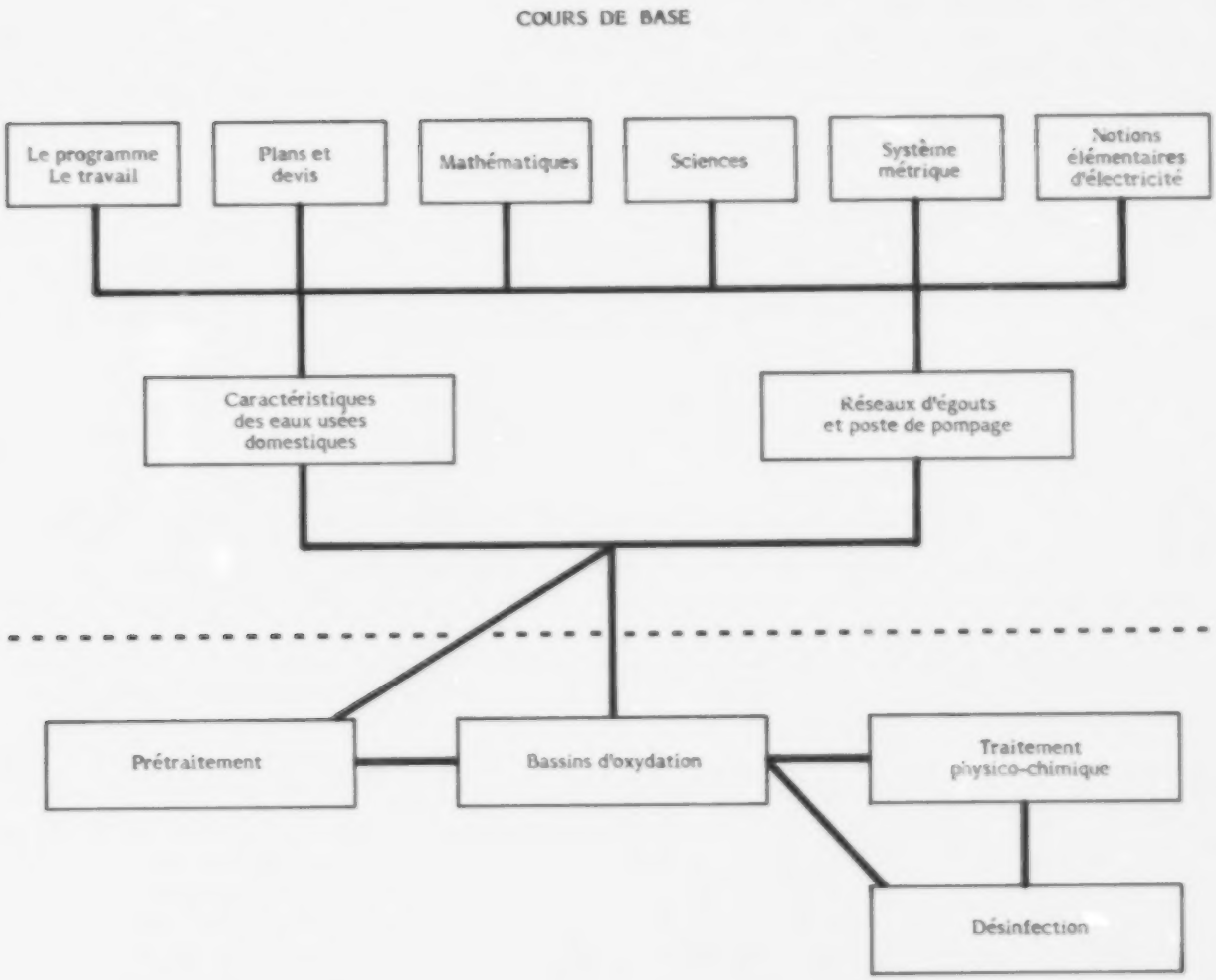


FIGURE D-4 SUJETS ÉTUDIÉS ET CHAMP D'APPLICATION

Durée (heures) de chaque cours

Le programme, le travail	15
Plans et devis	15
Mathématiques	30
Sciences	45
Système métrique	15
Notions élémentaires d'électricité	15
Caractéristiques des eaux usées domestiques	60
Réseaux d'égouts et poste de pompage	30
Sous-total (cours de base)	225
Prétraitement	15
Bassins d'oxydation	15
Traitement physico-chimique	45
Désinfection (chloration et ozonation)	60
Sous-total (durée totale des quatre cours)	135
Total	360

Ce programme est recommandé par Environnement Québec. On pourrait intégrer le programme de formation sur l'épuration des eaux usées de la WPCF dans le cours de 15 heures qui traite des bassins d'oxydation. Certains trouveront peut-être que c'est là un programme fort long, mais il faut souligner qu'il est impératif que les opérateurs soient bien formés. À mon avis, les cours de base sont la partie la plus importante du programme. Ils permettent d'inculquer au stagiaire des notions élémentaires qui lui permettront de vraiment comprendre la nature de son travail et des processus d'épuration qui entrent en jeu. Il faut cependant adapter certains des cours en fonction des aptitudes des stagiaires et du genre d'installations dont ils devront s'occuper.

Le programme pourrait être divisé en quatre parties: une période de 3 semaines et 3 périodes de deux semaines. Dans le Nord du Québec, on aménagera de nouvelles installations d'oxydation au cours de l'été 1986. La formation se donnera durant les travaux afin que les stagiaires puissent travailler sur les lieux de l'installation entre les sessions. Cette approche présente de nombreux avantages: les stagiaires pourront notamment acquérir des connaissances pratiques sur les installations dont ils s'occuperont plus tard, ils auront l'occasion d'appliquer les connaissances théoriques qu'ils ont acquises durant les sessions et il y aura pour eux une continuité entre l'aménagement et l'exploitation.

Les stagiaires. Dans les villes du Nord, l'alimentation en eau de consommation et la cueillette des eaux usées se font par camion. Je proposerais que les conducteurs des camions veillent aussi à l'exploitation des installations d'épuration: ils sont déjà à l'emploi de la municipalité, ils ont de l'expérience avec les eaux usées et, dans le Nord du Québec, ce sont eux qui gardent le plus longtemps leur emploi.

L'enseignant. L'enseignant doit de préférence être un opérateur qui possède plusieurs années d'expérience. Il sera ainsi mieux à même de motiver les élèves et pourra leur parler de problèmes d'exploitation qu'il a connus.

Conclusion. Je n'ai fait ici que tracer les grandes lignes du programme de formation que devraient suivre les opérateurs des installations d'épuration. J'estime que la formation ne devrait pas être confiée à chaque municipalité mais qu'il faudrait plutôt uniformiser les programmes dispensés au Canada ou au moins dans une même province ou un même territoire. Nous serions ainsi assurés que les installations sont exploitées avec efficacité et que les effluents sont de bonne qualité à la grandeur du pays.

ANNEXE E

Documents offerts en consultation

(Les publications mentionnées ici s'ajoutent à celles qu'on énumère dans le rapport d'Environnement Canada sur "Les étangs de stabilisation dans les régions nordiques" (Rapport SPE 4/NR/1, juillet 1985)).

ANNEXE E

E.1 Gouvernements provinciaux

Nouveau-Brunswick

1. Environment New Brunswick, Pollution Control Branch, "Summary of Operating Conditions of Wasterwater Treatment Plants Province of New Brunswick", nos T-8403, 1984 et T-8304, 1983.

Québec

1. Jalbert, J.-M., "Les étangs facultatifs aérés, théorie et pratique", Ministère de l'Environnement, Service de l'assainissement urbain.

2. Jalbert, J.-M., "Étude sur l'efficacité des étangs aérés facultatifs de la ville du Lac-Etchemin", Ministère de l'Environnement, travail présenté dans le cadre de la 22e conférence régionale annuelle de l'Association québécoise des techniques de l'eau - Chapitre de l'Estrie.

Ontario

1. Limnos Ltd., "Environmental Significance of Sewage Lagoons in Ontario", Provincial Lottery Project No. 164, mars 1982.

2. Limnos Ltd., "Summary Report on Walleye Culture - Port Perry Lagoon 1984", Rapport au Ministre des ressources naturelles, janvier 1985.

3. Townshend, A.R., Ontario Water Resources Commission, Toronto, "Statistical Analysis of the Effluent Quality of Biological Sewage Treatment Processes", *Proceedings, The Third Canadian System on Water Pollution Research*, University of Toronto, Vol. 3, pp. 272-293, février 1968.

4. Townshend, A.R., Ontario Water Resources Commission, "Status Report on The Design, Cost and Performance of Aerated Lagoons in Ontario", travail présenté à la 35e Conférence annuelle du Canadian Institute on Pollution Control, Hamilton (Ontario), 20-23 octobre 1968.

5. Rapports de recherche du ministère de l'Environnement de l'Ontario:
   - Andrews, R.H.G., "Gravity Filtration of Algal Suspensions";
   - Black, S.A., "Review of Effluent Polishing Pilot Plant Study Brampton - Chinguacousy WPCP";
   - Black, S.A., "Supplementary Aeration of Waste Stabilization Ponds for the Treatment of Industrial Wastes";
   - Christie, A.E., "Virus Reduction in the Waste Stabilization Pond";
   - Ehlert, N.G., "Land Disposal of Lagoon Effluent at Shelburne";

- Ehlert, N.G., "The Effects of Alum Injection on the Effluent from Continuous Discharge Lagoons";
- Fielding, M.B., "Waste Stabilization Pond Berm Erosion";
- Lewandowski, W. et B. Bradley, "A Survey of Aerated Lagoon Performance";
- Shikaza, K., "Aerated Lagoons for the Treatment of Cannery Wastes".

6. Rapports de recherche parus dans le cadre de l'entente Canado-Ontario sur la qualité des eaux des Grands Lacs.
   - Boyko, B. et J.W.G. Rupke (MOE), "Phosphorus Removal Within Existing Wastewater Treatment Facilities";
   - Ehlert, N.G. (MOE), "Spray Runoff Disposal of Waste Stabilization Pond Effluent";
   - Graham, H.G. et R.B. Hunsinger (MOE), "Phosphorus Reduction from Continuous Overflow Lagoons by Addition of Coagulants to Influent Sewage";
   - Graham H.J. et R.B. Hunsinger (MOE); "Phosphorus Removal in Seasonal Retention Lagoons by Batch Chemical Precipitation";
   - Pollutech Pollution Advisory Services Ltd., "Nutrient Control in Sewage Lagoons", vol. I and II.

Manitoba

1. Environmental Management Division, Environmental Control Services, "Recommended Operation and Maintenance of Sewage Lagoons", rapport ES 216, octobre 1983.
2. Environmental Management, Province of Manitoba, "Design Objectives for Standard Sewage Lagoons", rapport ES 145, mars 1985.
3. Metropolitan Corporation of Greater Winnipeg, Waterworks and Waste Disposal Division, "Evaluation of Aerated Lagoons in Metropolitan Winnipeg", mars 1970.

4. Saskatchewan

Les publications 1 à 12 ont été publiées par la Water Pollution Control Branch, ministère de l'Environnement de la Saskatchewan.

1. "A Guide to Aquatic Nuisances and Their Control".
2. "Lagoon Problems - Investigative Protocol".
3. "Multi-Cell Sewage Lagoon Performance, City of Lloydminster 1971-1976", publication WPC-16, mars 1977.
4. "Municipal Facility Classification and Voluntary Operator Certification Program", 2e édition, juin 1981.
5. "Municipal Sludge Disposal to Land".
6. "Overview of Lagoon Problems in Saskatchewan", juin 1985.
7. "Remote Sensing Utilizing Colour Infrared film for Lagoon Seepage Detection", mars 1985.

8. "Saskatchewan Regulation 3/80, The Water Resources Management Act - Section 41", janvier 1980.

9. "Sewage Effluent Irrigation Guidelines", juin 1976, révisé en octobre 1983.

10. "Two-Cell Lagoon Operation and Maintenance", mars 1983.

11. "Water Quality Objectives," janvier 1975, réimprimé en septembre 1983.

12. "Waterworks and Sewage Works Design Guides", avant-projet.

13. Saskatchewan Research Council, "A Demonstration Project at Humboldt to Provide Tertiary Treatment to the Municipal Effluent Using Aquatic Plants", G. Lakshman, SRC Technical Report No. 129, Publication nº E-820-11-B-82, mai 1982.

Alberta

1. Alberta Environment, Earth Sciences Division, "A Practical Guide to Municipal Wastewater Irrigation", juin 1984.

2. Hogge, H.L., Alberta Dept. of Public Health, "Sewage Treatment Capabilities of Short and Long Detention Ponds", Présenté lors de la Fourteenth Annual Convention, Western Canada Water and Sewage Conference, Calgary (Alberta), 27 et 28 sept. 1962 (pp. 139-173 des Actes).

3. Reid, Crowther and Partners Ltd., et coll., "Rapid Infiltration - A Design Manual 1981, for Alberta Environment and The City of Red Deer, mai 1981.

Les publications ci-dessous ont été publiées par la Standards and Approvals Division du ministère de l'Environnement de l'Alberta.

4. "Atelier de travail sur le lagunage en régions nordiques", Winnipeg, Manitoba, 5 - 7 juin 1985, annexes I à IV; Alberta Clean Water Act Legislation, Standard Conditions for Permits and Licences, Engineering Reviews and Standards Revisions, Treatment Performance and Evaluation".

5. "Design and Construction of Liners for Municipal Wastewater Stabilization Ponds".

6. "Flexible Synthetic Liners and Their Use in Liquid Waste Impoundments", avril 1984.

7. "Guidelines for the Application of Municipal Wastewater Sludges to Agricultural Lands".

8. "Policy Document on Land Application of Municipal Wastewaters in Alberta", mai 1979.

9. "Alberta Environment Standards for Water Supply and Sewage", 1978. Cette publication normalisée sera remplacée en 1987 par "Standards for Water supply Facilities, Sewage Works, and Stormwater Drainage Systems".

Colombie-Britannique

1. British Columbia Water and Wastewar Operators Certification Program, Certification Board, "B.C. Water and Wastewater Operators Voluntary Certification Program and Municipal Facility Classification", avril 1979.

Yukon

1. Yukon Territory Water Board, "Guidelines for Municipal Wastewater Discharges in the Yukon Territory", mars 1983.

Territoires du Nord-Ouest

1. Christensen, V., "General Guidelines for the Planning and Preliminary Engineering of Appropriate Sewage Treatment/Disposal Systems for Small Northern Communities", Department of Local Government, Yellowknife, T.N.-O., juillet 1982.

E.2 Gouvernement fédéral du Canada

Environnement Canada, Conservation et Protection

1. Kent, R.J., Northwest Territories District Office, "Consulting the Development of Municipal Effluent Guidelines for the Northwest Territories", from IAWPRC Proceedings, Yellowknife, T.N.-O., 1985.

2. Metikosh, S., V.W. Cairns, B.E. Jank, Centre technique des eaux usées, "Évaluation de la toxicité des effluents municipaux épurés", rapport SPE 4-WP-81-1, février 1980.

3. Ross, A.A., M.G. Boivin et D.L. Caverson, Direction des programmes industriels, "Coûts d'exploitation et d'entretien des installations des eaux usées municipales 1980", rapport SPE 5/UP/1, décembre 1984.

Affaires indiennes et du Nord Canada

1. Crowley, F., Division des Services municipaux, "Critères d'implantation d'étangs de stabilisation facultatifs", rapport DTC-41-3, janvier 1985.

2. Cullimore, Dr. D.R., et Dr. A. Maule, Regina Water Research Institute, "A Study of the Microbiology of Sloughs Receiving Human Effluent to Determine the Hygienic Safety of Such Practices", rapport du RWRI n^{o} 30, février 1982, révisé en février 1984.

3. Guide du génie et de l'architecture, Partie 41, DRM/GM 10-7, "Bassins de lagunage", p. 26-32, novembre 1984.

4. Soniassy, R. et R. Lemon, Water Resources Division, Northern Affairs Program, "Lagoon Treatment of Municipal Effluent in a Subarctic Region of Canada (Yellowknife, N.W.T.)". IAWPRC International Conference on Arctic Water Pollution Research, Yellowknife, T.N.-O., 28 avril - 1er mai 1985, Section V-3.

E.3 Universités canadiennes

1. Brière, F., Le Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal, "Étude du traitement des eaux usées par des tourbières au campement Fontanges, Rapport final, 2^{ieme} année d'opération", préparé pour la Société d'Énergie de la Baie James, Montréal, Projet CDT P728, juin 1984.

2. Henry, J.G., D. Prasad et M. Michael, Dept. of Civil Engineering, University of Toronto, "Microbial Aspects of the Inuvik Sewage Lagoon". IAWPRC International Conference on Arctic Water Pollution Research. Yellowknife, T.N.-O., 28 avril au 1er mai 1985, Section V-2.

3. Héroux, J.A., Dept. of Civil Engineering, Royal Military College of Canada, Kingston, "The Impact of Raw Wastewater Discharge to Alert Inlet", *Proceedings, Cold Regions Engineering Specialty Conference, April 4-6, 1984*, Canadian Society for Civil Engineering, Montréal, pp. 861-877.

4. Leblanc, D. et R. Labonté, Centre d'ingénierie nordique de l'École polytechnique de Montréal, "Épuration des eaux usées domestiques par le lagunage naturel facultatif à microphytes sous un climat froid", CINEP No. 665-339, décembre 1983.

5. Murray, G.E., et coll., Biology Dept., Université d'Ottawa, "Effect of Chlorination on Antibiotic Resistance Profiles of Sewage - Related Bacteria", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 48, No. 1, juillet 1984, pp. 73-77.

6. Smith, D., Dept. of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, "Treatment Ponds for Cold Climates - An Overview", *World Water*, sept. 1983, pp. 53-57.

E.4 Gouvernement fédéral américain

United States Environmental Protection Agency, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio

1. "Performance and Upgrading of Wastewater Stabilization Ponds", EPS-600/9-79-011, mai 1979.

2. "Waste Stabilization Lagoon Microorganism Removal Efficiency and Effluent Disinfection with Chlorine", EPS-600/2-79-018, juillet 1979.

3. United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Monitoring, "Lagoon Performance and the State of Lagoon Technology", EPA-R2-73-144, juin 1973.

U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire

4. "Accumulation, Characterization, and Stabilization of Sludges for Cold Regions Lagoons", Special Report 84-8, avril 1984.

5. "Nitrogen Removal in Wastewater Ponds", Report 84-13, juin 1984.

E.5 Universités américaines

1. Tilsworth, T. (University of Alaska) et Smith, D.W. (University of Alberta), "Cold Climate Facultative Lagoons", *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 11, nº 3, sept. 1984, pp. 542-555.

2. Tilsworth, T., "Cold Climate Lagoon Status", Institute of Water Resources, University of Alaska, Fairbanks, No. E84-11, Mai 1984. Refer to CCREL.

3. Utah State University, College of Engineering, Utah Water Research Laboratory, "Upgrading Wastewater Stabilization Ponds to Meet New Discharge Standards". Actes d'un symposium édité par Middlebrooks, E.J., et al., No. PRWG159-1, Nov. 1974.

ANNEXE F

Évaluation de l'atelier de travail

(préparée d'après les renseignements fournis dans les formules d'évaluation)

ANNEXE F

Évaluation de l'atelier de travail

F.1 Commentaires sur l'atelier

- La documentation envoyée en guise de préparation était excellente.
- Les gens réunis étaient expérimentés et représentatifs des organismes et des milieux concernés et ils connaissaient les besoins dans le domaine.
- L'aménagement des lieux était propice aux échanges informels.
- Les animateurs ont su préparer le programme en accordant toute l'attention voulue aux questions importantes.
- La participation des représentants et les échanges ont été enrichissants.
- Qualité des renseignements et des concepts présentés.
- Objectif principal atteint: on a déterminé quelles questions devraient être approfondies en priorité.

F.2 Quelques points faibles

- Pour certains des participants, les objectifs de l'atelier n'étaient pas clairs.
- Les participants étaient mal préparés.
- Les débats auraient dû être dirigés avec plus de rigueur.
- Trop peu de temps a été réservé à l'approfondissement des problèmes identifiés.
- La salle était trop petite.
- Certaines des présentations visuelles laissaient à désirer.

F.3 Commentaires sur l'organisation des prochains ateliers

- Il serait bon de connaître à l'avance les questions abordées et de disposer de plus de temps pour l'examen des solutions proposées.
- Les participants devraient se préparer suivant des instructions précises.
- Au début de la rencontre, il faudrait prendre le temps d'expliquer les buts visés et les moyens employés pour y arriver.
- Certaines questions prévues au programme devraient d'abord être étudiées par de petits groupes de spécialistes qui feraient ensuite part de leurs conclusions à la plénière.
- Il faudrait former de petits groupes de réflexion qui délégueraient un représentant à la plénière.
- On pourrait former des groupes "remue-méninges" dirigés par un coordonnateur qui ferait le point à la plénière.
- Il faudrait laisser aux participants le temps de faire plus ample connaissance.
- Il faudrait changer périodiquement l'attribution des places pour favoriser les nouveaux contacts.